der Enzyme

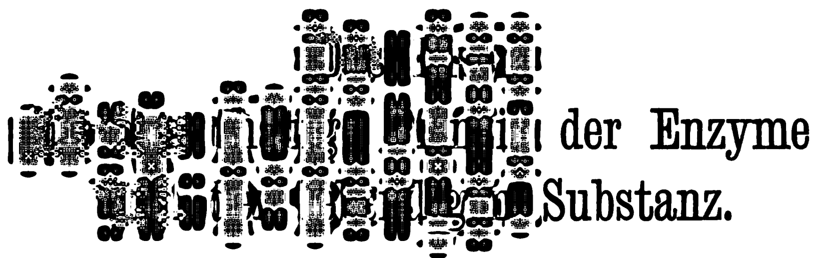
Substanz.

t

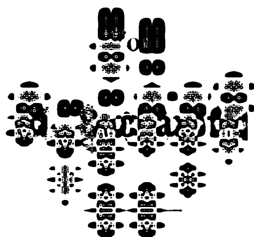
n

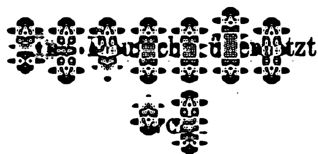
dessa.

cher.



… der Enzyme … Substanz.

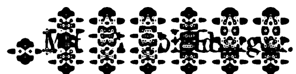


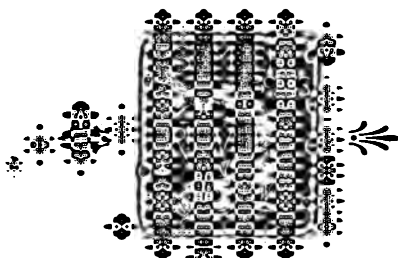


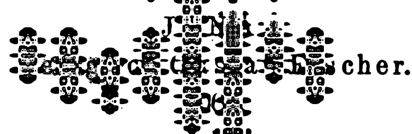
… tzt



… Odessa.







… cher.



Vorwort.

Im Verlaufe meiner bakteriologischen und morphologischen Studien fühlte ich mich gleich vielen anderen Beobachtern nicht selten überwältigt von der unendlichen Mannigfaltigkeit der vitalen Erscheinungen und empfand ein dringendes Bedürfnis, diese Erscheinungen auf ein zusammenfassendes Prinzip zurückzuführen. Bei den Versuchen, ein solches Prinzip ausfindig zu machen, gelangte ich zu der Ueberzeugung, daß allen vitalen Erscheinungen ein Oxydationsprozeß des in der lebendigen Substanz enthaltenen Eisens zu Grunde liegt.

Als Nicht-Chemiker konnte ich indessen nicht darauf rechnen, diese Theorie selbständig auszuarbeiten und versuchte auf letztere die Aufmerksamkeit der Specialisten zu lenken. Meine Versuche hatten keinen Erfolg — wie es scheint — aus dem Grunde, daß meine einschlägigen Mitteilungen[1]) viel zu kurz und fragmentarisch verfaßt waren und Fehler enthielten.

Weil aber die Ueberzeugung von der Richtigkeit meiner Theorie im Laufe der letzten Jahre in mir noch stärker geworden (wozu am meisten die Thatsache beigetragen hatte, daß es mir mit Hilfe dieser Theorie gelungen war, den Chemismus der Enzymwirkung zu erklären), entschloß ich mich, die Theorie in mehr vollständiger und zusammenhängender Form monographisch zu bearbeiten.

Ich wollte den Weg andeuten, auf welchem die Theorie experimentell erhärtet werden könnte und einen Versuch der Anwendung der Theorie auf die Erklärung der wichtigsten vitalen Erscheinungen beibringen.

---

1) S. Protokoll der Kaukas. Med. Gesellsch. und Centralbl. f. Bakt., 1896, 1897 und 1898.

Tiflis, September 1901. N. Sacharoff.

Inhalt.

Kapitel I.

> Verbindung von Theorie und Erfahrung liefert ein unvergleichlich mächtigeres Untersuchungswerkzeug, als die Theorie und Erfahrung vereinzelt genommen.
>
> John Herschel.

Was für eine vitale Erscheinung wir auch zu studieren beginnen, überzeugen wir uns recht bald, daß das Wesen dieser Erscheinung uns unbegreiflich bleibt. „Je genauer, vielseitiger und gründlicher, sagt BUNGE, wir die vitalen Erscheinungen zu untersuchen uns bestreben, desto mehr überzeugen wir uns, daß diese Erscheinungen mechanischen Erklärungen nicht zugänglich sind." Solch eine Schlußfolgerung, die auch von vielen anderen Biologen geteilt wird, muß äußerst niederdrückend auf den Untersucher einwirken, welcher an das Studium der Physiologie herantritt behufs Aufklärung der biologischen Grundfragen, die mit Ungeduld nicht nur von den Fachleuten, sondern auch von allen Gebildeten erwartet wird.

Und diese unerquickliche Lage des Biologen ist leicht verständlich, indem zwischen der Biologie und den übrigen Naturwissenschaften ein Abgrund sich befindet, der nicht zu überbrücken ist, trotz der vereinten Bemühungen von sehr zahlreichen Gelehrten. Jener Abgrund macht alle unsere Bestrebungen zu nichte, die Natur als ein mit dem Menschen gemeinsames Ganzes zu begreifen und hält die menschliche Vernunft in einem kindlich-hilfslosen Banne. Bei einem solchen Zustande der Dinge sieht sich der Biologe zur Fortsetzung der langsamen Arbeit eines engbegrenzten Specialisten verdammt, ohne Hoffnung, je aus dem umgebenden Dunkel herauszukommen.

Es entsteht nun die Frage: Worin liegt der Grund eines so langsamen Fortschrittes unserer Wissenschaft? Diese Frage ist vielfach von berufenen Autoren ventiliert worden, und nehmen letztere an, daß dem Studium der vitalen Erscheinungen haupt-

sächlich die ungewöhnliche Kompliziertheit derselben, welche die Anwendung der induktiven Methode erschwert, im Wege steht. In der That birgt die Methode in sich selbst die Ursache ihrer Unzulänglichkeit zum Studium der vitalen Erscheinungen. Sie besteht nämlich darin, „daß auf Grund mehrerer Einzelfälle, in welchen irgend eine Erscheinung aufgetreten ist, den Schluß ziehen, daß diese Erscheinung in allen Fällen einer bestimmten Klasse zustande kommt, welche den zuerst beobachteten in den als **wesentlich** erkannten Eigenschaften ähnlich sind“ (Mill, System der Logik).

Allein infolge völliger Unkenntnis des Wesens der vitalen Erscheinungen pflegt es sehr schwierig zu sein, die wesentlichen Eigenschaften von den unwesentlichen zu unterscheiden, und ist es daher nicht leicht, die Klasse der Erscheinungen zu bestimmen, auf welche die gezogene allgemeine Schlußfolgerung anwendbar wäre.

Die Schlußfolgerungen der Biologie zeichnen sich demnach durch Unbeständigkeit aus, und müssen wir stets darauf gefaßt sein, zahlreichen Ausnahmen von diesen Schlußfolgerungen zu begegnen. Es entsteht also die Frage, ob nicht beim Studium der biologischen Erscheinungen die von den Philosophen als mächtiges Mittel zur Ergründung der Wahrheit angesehene Deduktivmethode mit heranzuziehen wäre. „Der Deduktivmethode, sagt Mill, verdankt der menschliche Geist die glänzendsten Triumphe der Naturforschung. Ihr verdanken wir alle Theorien, welche umfassende und komplizierte Erscheinungen auf wenige einfache Gesetze zurückführen, die sonst nie durch direkte Untersuchung der Erscheinung entdeckt werden könnten.“

Die Methode besteht darin, daß die mit Hilfe der Induktivmethode erhaltenen allgemeinen Schlüsse einer Nachprüfung unterworfen werden durch Anwendung dieser Schlüsse auf nicht untersuchte Fälle. Die allgemeinen Schlußfolgerungen können Hypothesen vorstellen, und um so genauer muß deren Nachprüfung durchgeführt werden, am besten mittels Versuche.

Man könnte uns entgegnen, daß diese Methode schon längst von den Biologen benutzt wird, indem in der Biologie viele Hypothesen existieren, sowie Versuche, die vitalen Erscheinungen vom Standpunkte jener Hypothesen zu erklären, z. B. die Theorien von Naegeli, Spencer, Bechamp, Altmann, de Vries, Wiesener u. A. Indessen vermögen wir diese Theorien nicht als Beispiele der Anwendung einer strengen Deduktivmethode zum Studium des

Wesens der vitalen Erscheinungen anzuerkennen, indem keine dieser Theorien einer Nachprüfung mittels Versuche sich unterwerfen läßt und keine dieser Theorien auf die Erklärung *aller* physiologischen Erscheinungen — Ernährung, Wachstum, Fortpflanzung, Bewegung, psychischen Erscheinungen — anwendbar ist.

Weil in der That der moderne Biologe nicht umhin kann, dem Evolutionismus im breitesten Sinne des Wortes zu huldigen, so *ist er genötigt, die gesamte unendliche Mannigfaltigkeit der Formen und Erscheinungen auf ein gemeinsames Prinzip zurückzuführen.*

Den angeführten Forderungen genügt auch nicht die Theorie des sog. „*psychophysischen Monismus*“, welche in verschiedener Form von Fechner, Wundt, Haeckel, Mach, Taine, Verworn, Hefding u. A. verkündigt wurde und vielseitigen Anklang gefunden hatte. Von der Auffassung ausgehend, daß Psychisches und Physisches die verschiedenen Seiten eines und desselben Realen sind, so hofften die Anhänger dieser Lehre das Hindernis zu überwinden, welches sich bei der Erklärung der Entstehung der psychischen Erscheinungen entgegenstellte. Das Ziel erwies sich aber als unerreichbar, da das Verhältnis zwischen dem Physischen und dem Psychischen ebenso dunkel blieb, wie zuvor. Daher finden wir unter den Anhängern dieser Theorie keine Einigkeit in Bezug auf die Grundprobleme der Wissenschaft und begegnen sehr zweifelhaften Anschauungen, wie z. B., daß zwischen dem Physischen und Psychischen keine ursächliche Beziehung existiert (Wundt), oder daß jedes Atom der leblosen Materie mit Geist begabt ist (Haeckel).

Indem ich mithin keiner der aufgezählten Theorien mich anzuschließen vermochte, dabei aber mir auf Grund der modernen wissenschaftlichen Thatsachen irgend eine Vorstellung vom Wesen der vitalen Erscheinungen zu bilden für nötig fand, machte ich meinerseits den Versuch, diese Erscheinungen aufzuklären, und beschloß, gemäß den oben angeführten Betrachtungen, einen streng deduktiven Weg einzuschlagen. Ich konstruierte zunächst eine Hypothese, welche das Wesen des vitalen Prozesses erklären sollte. Dieser Hypothese wurden die von der modernen Biologie mit Hilfe induktiver Untersuchung erzielten Schlußfolgerungen zu Grunde gelegt. Letztere, weil in mehreren Punkten sich widersprechend, wurden einer Revision unterzogen und möglichst miteinander in Einklang gebracht. Darauf unterwarf ich meine Hypothese einer experimentellen Nachprüfung und, da sie die Probe bestand, machte

ich zum Schlusse den Versuch, vom Standpunkte dieser Hypothese die in der Zelle, in den Muskeln und in den Nerven sich abspielenden Prozesse zu erklären.

Bei der Konstruktion unserer Grundhypothese müssen wir zunächst die Frage erörtern, was als Substrat der vitalen Prozesse zu gelten hat: die Zelle mit der ihr eigentümlichen äußerst komplizierten Organisation, oder die formlose Substanz, deren Thätigkeit lediglich durch ihre chemische Zusammensetzung bestimmt wird?

Nachdem SCHLEIDEN, SCHWAN u. A. das Leben der Organismen auf das Leben der Zellen zurückgeführt hatten, wurde die Zelle als das einfachste vitale Element anerkannt. Von diesem Standpunkt aus müssen wir das Leben als das Resultat der Zellenthätigkeit betrachten und annehmen, daß mit der Zerstörung der Zelle das Leben ebenso unmöglich wird, wie die Thätigkeit irgend eines komplizierten Apparates mit der Zerstörung desselben. Das ist nun auch die Ansicht der Mehrzahl der Biologen mit Bezug auf den vitalen Prozeß. Sie erkennen daher z. B. nicht an, daß die Oxydationsfähigkeit der Gewebe eine vitale Erscheinung sei, weil eben diese Fähigkeit auch der zerstörten Zelle eigentümlich ist (SCHMIEDEBERG, JAQUET u. A.).

Indessen ist solche Anschauungsweise mit vielen in neuester Zeit entdeckten Thatsachen nicht vereinbar. Man hat z. B. gefunden, daß die einzelnen Teile der Zelle ein viel unabhängigeres Leben führen, als es aus der Cellulartheorie zu folgern war. Die Versuche mit der Merotomie haben gezeigt, daß abgetrennte Zellenstücke, welche Kernanteile enthalten, zu einem vollständigen Organismus regenerieren können, und daß die kernlosen Stücke lange Zeit ihre Bewegungen zu bewahren vermögen (BALBIANI, HOFER, VERWORN u. A.). Man hat ferner Organismen ohne alle Organisation gefunden — die sog. HAECKEL'schen Moneren, welche als Zellen im üblichen Sinne dieses Wortes nicht zu bezeichnen sind, indem sie eines Kernes entbehren.

Viele Forscher hatten daher die Meinung ausgesprochen, daß die Zelle nicht als einfachstes vitales Element zu betrachten wäre, sondern als Kolonie, die aus noch einfacheren vitalen Komponenten zusammengesetzt ist. ALTMANN rechnet als solche Komponenten die Körnchen oder Granula. Diese Theorie ist aber wenig wahrscheinlich, indem sie die wichtigsten physiologischen Prozesse in der Zelle nicht zu erklären vermag. Richtiger dürfte die Schluß-

folgerung sein, daß der vitale Prozeß nicht an irgend ein morphologisches Element gebunden ist, sondern einen Prozeß darstellt, welcher in der lebendigen Substanz ausschließlich kraft deren chemischer Struktur sich abspielt. Diese Substanz nennt PFLÜGER lebendiges Eiweiß. Andere nennen sie lebendige Materie (LE DANTEC). Die Vorstellung von der lebendigen Substanz als Substrat des Lebens finden wir bei vielen Biologen.

Wir sehen also, daß neben der Cellulartheorie allmählich in der Wissenschaft die Lehre von der lebendigen Substanz entstanden ist. Diese Lehre muss im Gegensatz zur Cellulartheorie als *chemische Theorie des Lebens* bezeichnet werden. Beide Theorien widersprechen einander und erscheint es unbegreiflich, wie manche Autoren beide zusammen anstandslos annehmen konnten. Nehmen wir die erste Theorie an, so ist der vitale Prozeß als Resultat der Organisation auszusprechen, nehmen wir aber die zweite Theorie an, so ist die Organisation als Folge des vitalen Prozesses zu betrachten und aus der chemischen Struktur der lebendigen Substanz zu erklären, wo z. B. die Struktur der Krystalle aus der chemischen Struktur der krystallisierenden Substanz erklärt wird.

Vom Standpunkte der chemischen Theorie aus müssen wir die Zelle lediglich für eine Vorrichtung halten, welche die lebendige Substanz vor der zerstörenden Einwirkung des umgebenden Mediums bewahrt und ihr die Möglichkeit des Wachstums und der Fortpflanzung bietet, nicht aber als absolute Bedingung des vitalen Prozesses. Diese Vorrichtung mußte phylogenetisch auf jener Stufe der Entwickelungsgeschichte, welche die Moneren von den zelligen Organismen scheidet, zustande gekommen sein.

Von der Ansicht ausgehend, daß die kraft ihrer chemischen Zusammensetzung funktionierende lebendige Substanz das Substrat der vitalen Erscheinungen ausmacht, und daß diese Erscheinungen, wie gesagt, auf dem Wege der Evolution aus einem einzigen Prozesse heraus sich entwickelt haben, müssen wir als sehr wahrscheinlich annehmen, daß allen vitalen Erscheinungen ein und derselbe Prozeß zu Grunde liegt. Es fragt sich, was das für ein Prozeß ist?

Die Physiologen nehmen an, daß die Erscheinungen des Lebens in zwei große Gruppen sich einteilen: die Erscheinungen der organischen Synthese und die Erscheinungen der organischen Zerstörung (CLAUDE BERNARD). Wenn aber die vitalen Erscheinungen die Folge eines einzigen Prozesses ausmachen, so müssen wir von diesen beiden Erscheinungsgruppen eine Gruppe als Ausgangspunkt,

als Wesen des vitalen Prozesses betrachten und die andere als komplementären Prozeß, als Folge des ersteren. Es entsteht nun die Frage, welcher von den genannten Prozessen mehr für den vitalen Prozeß charakteristisch ist — ob die Zerstörung oder die Synthese der organischen Substanz? Mit dem Begriff des Lebens verbinden wir die Vorstellung der Aktivität und der Energie, der Unabhängigkeit von dem umgebenden Medium. Alle diese Eigenschaften sind das Resultat freiwerdender lebendiger Kraft bei der Spaltung von lebendiger Substanz, folglich das Resultat einer Zerstörung der letzteren.

In der Spaltung derselben haben wir also die Grundlage des vitalen Prozesses zu suchen. Die Richtigkeit dieses Schlusses wird durch die Thatsache gestützt, daß, wie wir weiter sehen werden, die Synthese nichts anderes vorstellt, als eine Regeneration der lebendigen Substanz aus Ueberresten, welche sich bei der Zerstörung der letzteren gebildet haben, wobei nur völlig zerstörte Reste durch neue aus der Nahrung ersetzt werden. Die Synthese läßt sich demnach erklären, wenn man weiß, wie die Spaltung der lebendigen Substanz vor sich geht. Die Kenntnis der Synthese vermag uns aber nicht zu erklären, warum die Spaltung der lebendigen Substanz zustande kommt.

Die Bestimmung der Ursache, welche die Spaltung der lebendigen Substanz herbeiführt, ist nun die wichtigste Aufgabe der Biologie. Die Chemiker lassen diese Frage ohne Erklärung, worauf noch Voit in seiner Physiologie der Verdauung aufmerksam gemacht hat. Eine Reihe der Biologen betrachtet als Ursache der Spaltung der lebendigen Substanz deren äußerste Labilität, welcher diese Substanz die zerstörende Einwirkung geringer physikalischer und chemischer Einflüsse verdankt. Der Schluß gilt beinahe als Axiom, ist aber kaum richtig. Es wird durch die Existenz von Organismen entkräftet, wie z. B. manche Bakterien, welche durch ungewöhnliche Resistenz gegenüber physikalischen und chemischen Agentien sich auszeichnen.

Diese Resistenz stimmt mit unserer Vorstellung von der Labilität der lebendigen Substanz keineswegs überein. Es ist noch zu betonen, daß in anderen Beziehungen die resistenten Bakterien den weniger resistenten gleichen und daß mithin der vitale Prozeß bei den einen und den anderen wesentlich derselbe sein muß. Man kennt auch andere Beispiele von Resistenz der lebendigen Substanz, von welchen die bemerkenswertesten — die Fähigkeit der letzteren

jahrhundertelang in Form von Samen erhalten zu bleiben und die Fähigkeit, der Einwirkung von Enzymen zu widerstehen, die energisch die tote Substanz angreifen. Und dürfte nicht die Fähigkeit der Gewebe in den bekannten D'ARSONVAL'schen Versuchen der Einwirkung starker alternierender Ströme hoher Frequenz zu widerstehen beachtenswert sein?

Dies alles beweist, daß die Ursache, welche die Spaltung der lebendigen Substanz bedingt, nicht in den geringen Einflüssen verschiedener physikalischer und chemischer Agentien gelegen ist, sondern in der Einwirkung irgend eines Faktors, welcher in besonderer Beziehung zu der lebendigen Substanz sich befindet. Was ist das für ein Faktor?

Die Antwort auf diese Frage gestaltet sich sehr leicht, wenn wir von den biologischen Grundthesen und von den Beobachtungen an einfachsten Organismen ausgehen. Offenbar muß das die Spaltung der lebendigen Substanz bewirkende Agens den Erreger des vitalen Prozesses vorstellen. Diese Rolle kommt am ehesten dem Sauerstoff zu, wie folgende Thatsachen uns überzeugen.

„Der Sauerstoff, sagt CLAUDE BERNARD, verleiht bei seiner Berührung mit den Organen den letzteren die Fähigkeit, in Erregung zu geraten. Sie können nur unter Bedingung dieser Erregung leben. Als Erregungsfaktor nimmt er an einer großen Anzahl von vitalen Erscheinungen Anteil.“ Zur Illustration dieser Rolle des Sauerstoffs führt CLAUDE BERNARD den bekannten ENGELMANN'schen Versuch bezüglich der Bewegung der Cilien an, welche durch Abschluß von Sauerstoff sistiert und durch Zutritt des letzteren von neuem angefacht werden kann.

Der Idee vom Sauerstoff als vom Erreger des vitalen Prozesses begegnen wir bei fast allen Physiologen, und ist es für uns um so sonderbarer, daß wir nirgends in der Physiologie eine befriedigende Erklärung dieser Rolle des Sauerstoffs finden. CLAUDE BERNARD sagt daher, daß „die Rolle des Sauerstoffes beim vitalen Prozesse unbekannt ist“.

Indessen vom Standpunkte der oben entwickelten Betrachtungen ist diese Rolle so deutlich hervorgetreten, daß wir lediglich die Thatsachen, welche dieselbe präzisieren, zusammenzufassen brauchen. Einerseits sind wir zu dem Schlusse gelangt, daß der vitale Prozeß in einer Spaltung besteht, deren Ursache unbekannt ist. Andererseits erweist sich der Sauerstoff als Erreger des vitalen Prozesses und ist es bloß unbekannt, wie er diese Erregung zustande bringt.

Beide Folgerungen erläutern einander gegenseitig und schließen wir dadurch, daß wir sie vereinigen, das Unbekannte aus, so daß nun die These resultiert: Der Sauerstoff löst den vitalen Prozeß dadurch aus, daß er eine Spaltung der lebendigen Substanz bewirkt, die dem vitalen Prozesse zu Grunde liegt.

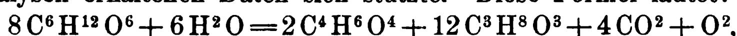
Indem aber das Wesen des vitalen Prozesses, wie oben hervorgehoben, in allen Organismen dasselbe sein muß, so ist diese These auf alle Organismen anzuwenden. Damit werden jedoch diejenigen Physiologen sich nicht einverstanden erklären, welche, auf die Existenz von Anaëroben sich stützend (für welche der freie Sauerstoff ein Gift bildet) annehmen, daß die Möglichkeit des vitalen Prozesses ohne Zuthun von freiem Sauerstoff über alle Zweifel erhaben ist. Wir wollen nun zusehen, worin die zu Gunsten der Lehre von der Anaërobiose herangezogenen Thatsachen bestehen.

Man hat Mikroben gefunden, zu deren Kultur die Entfernung der Luft aus dem die Mikroben umgebenden Medium erforderlich ist. Dieser Entfernung kann durch Verdrängen der Luft mittels Wasserstoffstrom, durch Absorption des Sauerstoffes mittels Pyrogallussäure, durch Auspumpen mit der Luftpumpe und durch andere Mittel erzielt werden. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß durch all diese Methoden eine vollkommene Entfernung der Luft sich nicht erreichen läßt, daß also die betreffenden Versuche uns nicht berechtigen, die Möglichkeit von Leben bei völligem Sauerstoffabschluß anzunehmen. Daher regt sich auch bei den Bakteriologen in letzter Zeit ein gewisser Zweifel mit Bezug auf die Lehre von der Anaërobiose. So schreibt z. B. Beijerinck: „Auf Grund längerer Untersuchungen über das Butylferment komme ich mehr und mehr zu der Ueberzeugung, daß auch die obligaten Anaëroben des Sauerstoffes zu ihrem Lebensunterhalt bedürfen, es genügen aber schon Spuren von Sauerstoff für eine lange Reihe von Generationen.“

Im Hinblick auf diese Thatsachen, sowie im Hinblick darauf, daß die Lehre von der Anaërobiose mit allen unseren Kenntnissen über das Leben im Widerspruch steht, müssen wir, unserer Regel folgend, von zwei Hypothesen die plausibelste zu wählen, als sehr wahrscheinlich annehmen, daß eine vollständige oder absolute Anaërobiose nicht existiert.

Diesen Schluß könnte man für nicht gehörig fundiert halten und uns entgegnen, daß der Widerspruch zwischen Anaërobiose und der Lehre vom Sauerstoff als Erreger des vitalen Prozesses nur

scheinbar wäre, indem die Anaëroben ebenfalls Sauerstoff verbrauchen, aber keinen freien Sauerstoff, sondern gebundenen, in den chemischen Verbindungen enthaltenen. Solche Anschauung auf die Anaërobiose ist von PASTEUR ausgesprochen worden, welcher meinte, daß die Hefe den Zucker bei Ausschluß von Sauerstoff zerlegt, indem sie dem Zucker den ihr zur Atmung nötigen Sauerstoff entnimmt. Bei der Kritik dieser Anschauung weist SCHÜTZENBERGER darauf hin, daß thatsächlich bei der Zerlegung von Zucker Sauerstoff frei werden kann, wie MONOYER zeigt, welcher die Formel dieser Zerlegung gab, indem er auf die von PASTEUR bei seinen Analysen erhaltenen Daten sich stützte. Diese Formel lautet:



$$8\,C^6H^{12}O^6 + 6\,H^2O = 2\,C^4H^6O^4 + 12\,C^3H^8O^3 + 4\,CO^2 + O^2,$$

d. h. die Glykose zerfällt unter Wasseraufnahme in Glycerin, Bernsteinsäure, Kohlensäure und Sauerstoff.

Die angeführte Theorie beweist in der That, daß die Bildung von Sauerstoff bei der in der Anaërobiose stattfindenden Spaltung möglich ist, erklärt aber nicht, wodurch diese Spaltung hervorgerufen wird. Wir können uns wohl vom Standpunkte dieser Theorie aus eine Idee davon machen, was der begonnene Spaltungsprozeß für einen Fortgang nehmen dürfte infolge des Freiwerdens von Sauerstoff, wir sind aber immerhin nicht in der Lage zu erklären, wodurch die anfängliche Spaltung hervorgerufen ist. Die Anschauung von PASTEUR, daß der Bedarf der Zelle an Sauerstoff zu ihrer Atmung die Spaltung des Zuckers herbeiführt, klärt die Frage nicht auf, indem gerade die Atmung derjenige Prozeß ist, dessen Erklärung das Endziel der Untersuchung in unserem Falle ausmacht.

Denselben Schwierigkeiten begegnen wir bei den Versuchen, die Prozesse zu erklären, welche ohne Zuthun von freiem Sauerstoff in den Organen der Warmblüter sich abspielen. Es ist z. B. bekannt, daß der Muskel längere Zeit sich zu kontrahieren vermag unter Abscheidung von Kohlensäure bei Abwesenheit von Sauerstoff (HERMANN). Diese Thatsache läßt sich natürlich nicht anders erklären, als durch die Annahme, daß die Kohlensäure bei der Spaltung der Muskelsubstanz auf Kosten des in letzterer enthaltenen Sauerstoffes sich bildet. Das wäre ja aber im wesentlichen die Theorie von der intramolekularen Atmung, die von PFLÜGER entwickelt worden ist und auf die man zur Erklärung der vitalen Prozesse, welche ohne bemerkbares Zuthun von Sauerstoff sich abspielen, zurückzugreifen pflegt. Diese Theorie wenden die Physiologen

auch auf die gewöhnliche Atmung an. Nach VERWORN verlief hierbei der vitale Prozeß in folgender Weise: „Durch den intramolekularen Anschluß von durch die Atmung eingeführtem Sauerstoff erlangt die Molekel der lebendigen Substanz den höchsten Punkt ihrer Spaltbarkeit, so daß ein ungewöhnlich kleiner Anstoß genügt, um die Bindung von Sauerstoffatomen mit einem Kohlenstoffatome herbeizuführen."

Mit Bezug auf die Theorie von der intramolekularen Atmung läßt sich dasselbe wiederholen, was bezüglich der Anschauungen PASTEUR's hinsichtlich der Anaërobiose ausgeführt worden ist. Diese Theorie erklärt ganz richtig die Bildung der Oxydationsprodukte auf Kosten des intramolekularen Sauerstoffs, sie erklärt uns aber nicht die Ursache für die Spaltung der lebendigen Substanz, diese Ursache kann nicht in der Labilität der lebendigen Substanz liegen, indem wir bereits darauf hingewiesen haben, daß letztere gar nicht so labil anzunehmen ist wie manche denken und wie VERWORN in dem oben citierten Passus ausführt.

Die Theorie der intramolekularen Atmung gestattet also nicht, die Lehre von der Anaërobiose mit den übrigen biologischen Thatsachen in Einklang zu bringen. Diese Lehre bleibt bisher ebenso paradox, wie sie bei ihrem Auftreten in der Wissenschaft gekennzeichnet wurde, als die Biologen mit Mißtrauen die Angabe PASTEUR's entgegennahmen über die Existenz von Organismen, die gar nicht des freien Sauerstoffes bedürfen.

Wir glauben, daß der Annahme der Lehre von der Anaërobiose die Thatsache mit verholfen hat, daß der Sauerstoff selbst an kleinen Mengen sich als Gift für die Anaëroben herausstellte. Mit dieser Thatsache ließ sich offenbar die Idee von der Notwendigkeit des Sauerstoffes zum Leben der Anaëroben schwer in Einklang bringen. Indessen vom Standpunkte der Einheit der vitalen Erscheinungen präsentiert sich diese Thatsache in einem anderen Lichte. Wenn der Sauerstoff der Erreger aller vitalen Prozesse ist, so muß er unter Umständen auch die Ursache für den Tod des Organismus abgehen, der ebenfalls eine vitale Erscheinung ausmacht. Somit spricht gerade die Giftigkeit des Sauerstoffes der Anaëroben gegenüber dafür, daß er in geringeren Mengen den letzteren notwendig ist. Sollte er sich indifferent erwiesen haben, wie z. B. der Wasserstoff, so würde dies eher seine Nutzlosigkeit für die genannten Mikroben dokumentieren. Das Richtige einer solchen Anschauung

ergiebt sich daraus, daß der Sauerstoff bei großem Gehalte in der Luft auch für die Aëroben als giftig sich herausstellt.

Als weitere Ursache, welche zur Annahme der Lehre von der Anaërobiose mit beigetragen hat, ist der oben hervorgehobene Umstand anzusehen, daß in der Biologie nicht genügend Aufmerksamkeit der Bedeutung von Prozessen, die den üblichen Untersuchungsmethoden unzugänglich sind, und der Rolle, die im Leben der Organismen minimale Substanzmengen spielen, geschenkt wird. Viele Forscher haben darauf hingewiesen, was für eine mächtige Einwirkung diese Substanzmengen bei den sog. oligodynamischen Prozessen (NAEGELI, ISRAEL), bei der Chemiotaxis (PFEFFER) und anderen Erscheinungen auszuüben vermögen. Bestehen nun einmal solche Thatsachen, sind wir dann im Rechte, diejenigen Sauerstoffmengen, bei deren Gegenwart die Anaëroben existieren, als belanglos anzusehen? Die von uns angeführten Betrachtungen im Zusammenhang mit den oben erwähnten Versuchen von BEIJERINCK beweisen, daß jene Mengen — sie mögen noch so minimal sein — die Rolle eines Erregers für den vitalen Prozeß in den Anaëroben spielen müssen.

Dies gestattet uns, unsere Hypothese über das Wesen des vitalen Prozesses weiter zu entwickeln und also zu formulieren: Die Spaltung der lebendigen Substanz, welche dem vitalen Prozesse zu Grunde liegt, wird durch geringste Sauerstoffmengen ausgelöst.

Diese These erhält eine Stütze in den Versuchen von KÜHNE über die Rotationsbewegung des Protoplasmas von Algen aus dem Genus Nitella. Mit der Frage von der Bewegung werden wir uns später zu beschäftigen haben und wollen hier die Bewegung nur als Ausdruck des im Protoplasma vor sich gehenden vitalen Prozesses betrachten. In den Versuchen von KÜHNE hörte die Bewegung des Protoplasmas auf, sobald der Sauerstoff durch Einwirkung von reduzierenden Substanzen entfernt wurde, und stellte sich unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen wieder her, welche durch Vermittelung des Chlorophylls aus der Kohlensäure Sauerstoff ausscheiden. Dieser Versuch, den der Autor selbst als experimentum crucis bezeichnet, entscheidet mit voller Sicherheit die Frage von der Notwendigkeit des freien Sauerstoffes für die Bewegung.

Gleichzeitig lehrten aber KÜHNE's Versuche, daß man, um die Bewegung durch Einwirkung reduzierender Substanzen zu sistieren, der Dauer eines sehr langen Zeitraumes bedürfen, z. B. eines vollen

Monats. Um zu zeigen, wie der Autor selbst diese Thatsache sich erklärt, wollen wir seine eigenen Worte anführen: „Wenn das Protoplasma des Sauerstoffes benötigt, was zweifellos ist, wovon stammt er dann her?“ fragt KÜHNE, und fährt fort: „Die Antwort hat darin zu bestehen, daß die Zellen einen Vorrat an chemisch gebundenem, fixiertem Sauerstoff besitzen. Es müssen Sauerstoffverbindungen existieren, die durch die energischsten in die Zelle eindringenden reduzierenden Mittel nicht gespaltet werden. Daher, sagt KÜHNE, scheint in der Zelle nichts Reduzierbares, scheinen keine reduzierbaren Substanzen vorhanden zu sein, sondern lediglich solche, die durch das Protoplasma aufgebraucht werden. Und wenn sie verschwunden sind, entsteht Ruhe, bis Sauerstoff herankommt, welcher fixiert wird und an dem Aufbau chemischer Verbindungen teilnimmt.“

In diesen Worten ist offenbar der Versuch enthalten, die vorgeführten Experimente mittels der Theorie der intramolekularen Atmung zu erklären, und ist also daraufhin dasselbe vorzubringen, was oben mit Bezug auf die genannte Theorie auseinandergesetzt wurde.

Im gegebenen Falle vermag uns die Theorie noch weniger zu befriedigen, als bei Anwendung auf die Anaëroben. Acceptieren wir KÜHNE's Erklärung, so müssen wir annehmen, daß die Algen in seinen Experimenten einen Monat lang gleich den Anaëroben auf Kosten des in stabilen chemischen Verbindungen enthaltenen Sauerstoffes existieren und daß sie sich dann in Aëroben umwandelten, indem sie sich zur Fortsetzung der Bewegung nicht sauerstoffreiche Verbindungen (z. B. Zucker) beanspruchten, sondern gerade nur freien Sauerstoff. Können wir nun solche Periodicität der Existenz annehmen?

Betrachten wir KÜHNE's Experimente vom Standpunkte der Theorie aus, die wir entwickelt haben, so brauchen wir auf die von diesem Gelehrten gegebene Erklärung nicht zurückzugreifen. Beruht der vitale Prozeß auf durch geringste Sauerstoffmengen ausgelösten Spaltungen, so haben wir uns nicht zu wundern, daß es KÜHNE in seinen Experimenten nur mit solcher Mühe die Sistierung der Protoplasmabewegung zu erzielen gelingen wollte. Zunächst konnten ja in seinen Experimenten von den reduzierenden Substanzen nicht absorbierte Sauerstoffspuren noch bleiben. SCHÜTZENBERGER hat gefunden, daß eine so stark reduzierende Substanz wie das $HHSO_2$ (Hydrosulphite de Soude), bei der Einwirkung auf sauer-

stoffhaltiges Wasser den Sauerstoff in zwei Teile scheidet, von welchen der eine schnell mit der reduzierenden Substanz sich verbindet, der andere aber äußerst langsam. „Ist die Lösung sauer, sagt Schützenberger, selbst nur schwach sauer, so kann der Sauerstoff unbestimmte Zeit in latentem Zustande bei Gegenwart großer Mengen reduzierender Substanzen noch bleiben.“ Das ist eine von den möglichen Sauerstoffquellen in den Experimenten von Kühne. Eine andere Quelle kann das Protoplasma selbst abgeben, indem, wie oben angeführt, bei der Spaltung der lebendigen Substanz die Bildung von Sauerstoff aus an diesem Elemente reichen Verbindungen möglich ist. Dieses alles gestattet uns auch nicht, der Auffassung von Arm. Gautier beizustimmen, der die Theorie der Anaërobiose auf die Gewebe der höheren Organismen anwendete. Seine Lehre ist in der folgenden These, auf die er wiederholt beharrlich zurückkommt, ausgedrückt: „Im thätigen Protoplasma spalten sich die Proteinsubstanzen durch Hydratation in einem reduzierenden Medium und ohne jegliches Zuthun von Sauerstoff.“

Der Autor dieser Lehre steht offenbar auf dem Boden der oben von uns erörterten Theorien, und können wir ihm gegenüber die bereits vorgebrachten Entgegnungen hervorheben, indem wir darauf hinweisen, daß völlige Anaërobiose nicht existiert, daß die Spaltung des Protoplasmas ausschließlich auf der Labilität desselben nicht zu beruhen vermag und daß der vitale Prozeß auf der Einwirkung minimaler Substanzmengen, die der üblichen chemischen Untersuchung entgehen, begründet ist.

Unsere Hypothese wird also nicht bloß von den in der Wissenschaft vorhandenen Theorien nicht widerlegt, sondern sie hat uns noch dazu verholfen, uns Klarheit zu verschaffen in den Widersprüchen, welche diese Theorien mit Bezug aufeinander darbieten und mit Bezug auf die Thatsachen.

Es erübrigt uns noch, einen Schritt weiter in dem Aufbau unserer Hypothese zu machen und die Frage aufzustellen, warum der Sauerstoff eine spaltende Einwirkung auf die lebendige Substanz ausübt.

Wir werden sehen, daß die lebendige Substanz ein zusammengesetztes Complexum darbietet, bestehend aus Eiweiß, Kohlehydraten, Fetten, Salzen etc., und daß der Sauerstoff die Spaltung dieses Complexum wohl am sichersten dadurch hervorruft, daß er sich mit einem der aufgezählten Bestandteile verbindet, indem er denselben in einen zum Aufbau von Molekeln der lebendigen Substanz

untauglichen Körper umwandelt. Es entsteht also die Frage, was für ein Bestandteil der lebendigen Substanz mit dem Sauerstoff in Verbindung tritt?

Es kann dies weder Eiweiß, noch Fett, noch ein Kohlehydrat sein, indem sie alle keine ausgesprochene chemische Affinität zum Sauerstoff besitzen. Dieser Bestandteil muß eine Substanz sein, welche folgenden Anforderungen genügt. Sie muß die Fähigkeit besitzen, sich schnell mit Sauerstoff zu verbinden. Ihr Aufbrauch muß sich schnell ersetzen. Sie muß einen konstanten Bestandteil der lebendigen Substanz ausmachen, obgleich sie in letzterer auch in geringen Mengen enthalten sein mag. Nur unter diesen Bedingungen ist sie im stande, die Rolle zu spielen, die wir ihr zuschreiben — die Rolle eines thätigen Bestandteiles der lebendigen Substanz, deren Oxydation die Spaltung der letzteren hervorruft. Ein solcher Körper kann nur das Eisen sein, dessen Gegenwart durch die chemische Analyse in jeder Zelle, und namentlich in deren wichtigstem Bestandteile, in dem Kerne, sich nachweisen läßt.

Als wichtigste Eigenschaft des Eisens erscheint seine Fähigkeit, sich zu reduzieren. Dank dieser Fähigkeit, vermögen kleine Eisenmengen unbestimmt lange Zeit in Funktion zu bleiben, indem sie aus den Oxydul- in die Oxydverbindungen übergehen und umgekehrt.

Wir müssen annehmen, daß die Molekel der lebendigen Substanz eine äußerst geringe Quantität Eisen in Form der Oxydulverbindungen enthält, und daß sie sich in ihre Bestandteile spalten muß, sobald das Eisenoxydul in Eisenoxyd übergeht. Diesem Zerfall muß die die Spaltung begleitende Hydrolyse einiger Bestandteile der lebendigen Substanz (des Eiweißes, der Fette, der Kohlehydrate) beitragen, indem diese Hydrolyse, dank der chemischen Anziehung des sich hydrolysierenden Bestandteiles der lebendigen Substanz, zum umgebenden Wasser erfolgt.

Mithin muß, gemäß unserer Hypothese, *dem vitalen Prozesse eine Spaltung der lebendigen Substanz zu Grunde liegen, die durch Oxydation minimaler, in der lebendigen Substanz enthaltenen Eisenmengen bedingt wird, wobei noch dem Spaltungsvorgange die begleitende Hydrolyse zu gute kommt.*

Kapitel II.

Nachdem wir eine Hypothese konstruiert haben, welche das Wesen des vitalen Prozesses erklären soll, müssen wir gemäß den Prinzipien der von uns befolgten deduktiven Methode, einen weiteren Schritt thun: diese Hypothese einer Prüfung zu unterwerfen. Worin hätte aber die letztere zu bestehen? Dürfte es eine Prüfung heißen, wenn wir die Möglichkeit zeigen werden, mit Hilfe unserer Hypothese die eine oder die andere vitale Erscheinung theoretisch zu erklären? Wir denken, nein. Die vitalen Erscheinungen sind so kompliziert, so mannigfaltig, daß wir in denselben stets Belege zu Gunsten der allerverschiedensten Theorien auffinden können. Die biologische Litteratur liefert uns zahlreiche Beispiele, daß Theorien, die sich gegenseitig ausschließen, dank dem Talent ihrer Verteidiger, zu bestehen vermögen.

Wir glauben daher, daß eine Prüfung unserer Hypothese mit Hilfe von theoretischen Erörterungen nicht überzeugend sein dürfte. Nur der Versuch kann entscheiden, ob sie richtig ist oder nicht. Wir müssen durch den Versuch erweisen, daß thatsächlich das Wesen des vitalen Prozesses auf einer Spaltung der lebendigen Substanz beruht, hervorgerufen durch Oxydation und Reduktion minimaler, in der lebendigen Substanz enthaltenen Eisenmengen. Bei der Feinheit dieses Prozesses schien es mir längere Zeit unmöglich, die Richtigkeit unserer Hypothese auf experimentellem Wege stützen zu können und ein zu Versuchen solcher Art passendes Objekt ausfindig zu machen. Indessen, als ich mich mit dem Studium der baktericiden Substanzen beschäftigte, die doch Enzyme vorstellen, kam ich allmählich zu der Ueberzeugung, daß die Aufgabe lösbar ist, und daß wir in den Enzymen das gesuchte Objekt zur Prüfung unserer Hypothese besitzen. Zu solchem Schluß bin ich gelangt, nachdem ich mich überzeugte, daß die Wirkung der Enzyme eine vitale Erscheinung ist.

Zu Gunsten dieser Auffassung spricht die Thatsache, daß alle zur Erklärung der Enzymwirkung vorgestellten Theorien sich als ungenügend erwiesen. Mit Bezug auf die Theorien von LIEBIG und von NÄGELI bedarf solche Schlußfolgerung keiner weiteren Belege. Gleich ungenügend ist auch die Theorie der katalytischen Wirkung anzuerkennen, vorgeschlagen von BERCELIUS, welcher die Wirkung der

Emzyme mit der spaltenden Wirkung von fein verteilten Metallen auf organische Verbindungen verglich. Aber die Aehnlichkeit zwischen der Wirkung der Metalle und der Wirkung der Enzyme ist eine rein äußerliche, wie aus den folgenden Erwägungen ersichtlich. Die Wirkung der Enzyme ist bekanntlich eine specifische, indem ein Enzym, welches eine bestimmte Substanz spaltet, unfähig erscheint, die Spaltung einer anderen ihrer Zusammensetzung nach derselben nahestehenden Substanz auszulösen. So übt z. B. das Invertin, welches den Rohrzucker spaltet, keine Wirkung weder auf Maltose noch auf Laktose aus.

Diese Specifität erreicht einen staunenswerten Grad bei den baktericiden Substanzen und repräsentieren daher die letzteren das allerfeinste Reagens zur Unterscheidung voneinander ähnlicher Mikroben. Die Aehnlichkeit ist aber zuweilen so groß, daß es eben durch keine anderen Mittel gelingt, die betreffenden Arten zu differieren. Daraus folgt, daß die Wirkung der baktericiden Substanzen und der Enzyme auf einem sehr feinen Prozesse beruht, bei welchem unbedingt, wenn auch nur vorübergehend, eine chemische Bindung des Enzyms mit der sich spaltenden Substanz stattfinden muß. Nehmen wir die Theorie der katalytischen Wirkung an, so sind wir freilich nicht im stande, die Seite der Enzymwirkung zu erklären.

Die Theorie von Würtz, nach der das Enzym mit der sich spaltenden Substanz zu einer labilen Verbindung zusammentritt, die dann vom Wasser zerlegt wird, macht einen Fortschritt im Vergleich mit der Theorie von Bercelius aus, indem die Kontaktwirkung durch die chemische Wirkung ersetzt ist. Nach Bourquelot wird aber diese Theorie durch die Thatsache widerlegt, daß die Eiweißstoffe die Fähigkeit besitzen, alle Enzyme zu fixieren, während doch nicht alle Enzyme die Eiweißstoffe spalten.

Daß bei der Wirkung der Enzyme eine Bindung der letzteren mit der spaltenden Substanz stattfindet, nimmt auch Emil Fischer an.

Zu Gunsten der Auffassung, daß die Enzymwirkung eine vitale Erscheinung ist, spricht der Umstand, daß die Enzyme in vielen Beziehungen der lebendigen Substanz gleichen. Sie werden durch Kochen zerstört, hören in der Kälte zu wirken auf, zersetzen, ähnlich dem Protoplasma, das Wasserstoffsupraoxyd und — was das Wichtigste ist — sie sind in minimalen Quantitäten wirksam. Diese Eigenschaft weist darauf hin, daß sie gleich der lebendigen Substanz regeneriert zu werden befähigt sind. Auf Grund dieser Eigen-

schaften und der Specifität der Enzymwirkung hat HALIBOURTON die Meinung ausgesprochen, daß die Enzyme die Eigenschaften des lebendigen Eiweißstoffes besitzen.

Diese Meinung wird freilich auf Widerspruch von seiten derjenigen Biologen stoßen, welche den Gedanken von einer vitalen Erscheinung außerhalb der Zelle für unzulässig erachten. Wir haben aber schon darauf hingewiesen, daß heutzutage die cellulare Theorie allmählich der chemischen Theorie des Lebens weichen muß. Wir halten es indes für überflüssig, bei der theoretischen Frage zu verweilen, indem wir hoffen, letztere auf experimentellem Wege klar zulegen. Wenn wir beweisen, daß der Chemismus der Enzymwirkung auf demselben Prozesse beruht, welcher nach der von uns im ersten Kapitel entwickelten Hypothese allen vitalen Erscheinungen zu Grunde liegt, so wird hierdurch nicht bloß die Richtigkeit unserer Hypothese, sondern auch die Richtigkeit unserer Auffassung bewiesen, daß die Enzymwirkung eine vitale Erscheinung darbietet.

Zum Studium der Enzymwirkung wählte ich die Wirkung des Papajotins (MERK) auf Gelatine, indem diese Wirkung sich direkt beobachten läßt und man daher von der Notwendigkeit, quantitative chemische Analyse anzustellen, entbunden ist. Die Wirkung des Papajotins auf Gelatine habe ich der Beobachtung noch zugänglicher gemacht mit Hilfe einer Methode, die in folgendem bestand.

Die käufliche rote Gelatine wurde in Streifen geschnitten und 24 Stunden lang — behufs Entfernung der Säure — in destilliertem Wasser maceriert, dann auf einer Glasplatte getrocknet. Diese Streifen that ich in Reagensgläschen, welche eine Papajotinlösung [1]) enthielten, in der Weise hinein, daß sie um 1 und mehr Centimeter vom Boden des Gläschens abstanden. Das obere Streifenende wurde an die Wand des Gläschens angeklebt resp. an ein Stück Kork oder Paraffin befestigt. In Lösungen, welche 1 Proz. und mehr Papajotin enthielten, lösten sich die Streifen sehr leicht im Laufe von 5 Minuten oder etwas mehr. Der Prozeß der Lösung ließ sich unschwer an den roten Strömchen der flüssigen Gelatine, die zu Boden sanken, verfolgen. Mittels der Lupe war zu sehen, daß der Prozeß schon in der ersten Minute nach Einbringen der Gelatine

1) Diese sowie die weiteren Versuche habe ich mit dem MERK'schen Papajotin, welches die Aufschrift „Vollkommen reines Papajaferment" und den Stempel 92—18 trug, ausgeführt. Mit dem Präparat habe ich 2 Jahre lang gearbeitet und auf dasselbe beziehen sich die weiter unten beigebrachten chemischen Analysen.

in die Lösung beginnt. Bei den angegebenen Konzentrationen löste sich die Gelatine vollkommen und bildete am Boden des Gefäßes eine rote absolut klare Flüssigkeit. Verringert man jedoch die Konzentration der Flüssigkeit, so beobachten wir, daß neben der Lösung der Gelatine ein anderer Prozeß einhergeht — die Bildung einer unlöslichen Substanz, die in Form von weißlichen Membranen oder kleinen Fetzen die Oberfläche der Gelatine bedecken. Die Membranen kriechen dann nach unten und fallen auf den Boden des Reagensgläschens. Ich habe diese Körper Oxyglutin benannt. Er repräsentiert nicht einen unlöslichen Rest der Gelatine, denn zuweilen wird er gar nicht beobachtet und zuweilen geht die gesamte Gelatine in denselben über. Alles hängt von der Konzentration der Lösung ab. In konzentrischer Lösung des Papajotins bildet sich dieser Körper nicht. In dem Maße als die Konzentration verringert wird, geht ein immer größerer Anteil der Gelatine in Oxyglutin über. Bei Einwirkung einer Lösung von 1 : 500 geht fast die ganze Gelatine in den letzteren über.

Bei der Wichtigkeit der Frage von Oxyglutin und seinem Verhältnis zur Gelatine behufs Entscheidung der Frage über den Chemismus der Papajotinwirkung hielt ich es für notwendig, das Bild der Oxyglutinbildung in ihrer Abhängigkeit von der Konzentration der Lösung auf Photogrammen darzustellen. Bereiten wir uns in Probierröhren vier Papajotinlösungen verschiedener Konzentration: 5, 1, 0,5, 0,2 Proz. und bringen in alle diese Lösungen Gelatinestreifchen hinein, welche in Ueberzüge von feinster Gaze eingeschlossen sind (s. Phot. A 1). Machen wir nach Verlauf von 20 Minuten und dann wieder nach Verlauf von 24 Stunden photographische Aufnahmen (s. Phot. A 2 u. A 3). Wir sehen, daß in dem ersten Reagensglase die gesamte Gelatine in Lösung übergegangen ist, in den zwei letzten — in einen undurchsichtigen Körper, in Oxyglutin. In dem zweiten Gläschen bemerkt man die Bildung von Oxyglutin, aber in geringerem Grade als in den beiden letzteren.

Das Oxyglutin löst sich leicht in Alkalien, Säuren und in Lösungen neutraler Salze. Die Bildung von Oxyglutin erfolgt daher nicht in Gegenwart dieser Substanzen und die Gelatine geht vollkommen in Lösung über. Ich vermied deshalb die Beimengung solcher Substanzen und bediente mich einer Lösung von Papajotin in reinem destillierten Wasser (mit Ausschluß der Fälle, die im besonderen erwähnt sein werden).

Die beschriebene Methode erwies sich viel bequemer, als die

bekannte Methode von FERMI. Der Prozeß der Auflösung der Gelatine ließ sich mit ungewöhnlicher Deutlichkeit beobachten und war die geringste Abweichung zu sehen, die unter dem Einfluß von chemischen oder physikalischen Agentien sich einstellte. Bei allen diesen Experimenten benutzte ich neben den zu untersuchenden Lösungen Kontrolllösungen, die zum Vergleich dienten.

Ich habe mit der Methode im Laufe von 2 Jahren eine große Anzahl von Versuchen ausgeführt. Ich will nun die typischsten beschreiben, die es möglich machen, das Wesen der Papajotinwirkung und der Wirkung anderer Enzyme zu begreifen.

Versuch 1. Ich prüfte zunächst den Einfluß der antiseptischen Mittel auf die Wirkung des Papajotins — der Karbolsäure, des Thymol, des Cyankali, der Borsäure, des Wasserstoffsupraoxyds, des schwefelsauren Zinks u. dergl. Ich setzte davon in Mengen von 0,5 Proz. zu einer 2-proz. Papajotinlösung hinzu. Die Versuche habe ich dann photographisch aufgenommen und deren Ergebnisse sind nun leicht zu übersehen. Phot. B 1 stellt den Beginn des Versuches vor, B 2 nach einer Stunde und B 3 nach 24 Stunden. Der Versuch zeigt, daß mit Ausschluß von H_2O_2 alle aufgezählten antiseptischen Mittel nicht imstande sind, die Einwirkung des Papajotins auf Gelatine hintanzuhalten.

Versuch 2. Der Unterschied zwischen der Einwirkung von Wasserstoffsupraoxyd und der anderen antiseptischen Mittel auf das Papajotin tritt in dem vorhergehenden Versuche so scharf hervor, daß ich ein näheres Stadium der Einwirkung von Wasserstoffsupraoxyd auf Gelatine für nötig hielt. Ich bereitete mir eine Reihe von Lösungen des Wasserstoffsupraoxyds in verschiedenen Konzentrationen: 0,5, 0,2, 0,1, 0,05 Proz. (mit 2 Proz. Papajotin) und tauchte in alle diese Lösungen Gelatinestreifchen ein. Es stellte sich heraus, daß in dem letzten Gläschen die Gelatine binnen $^1/_4$ Stunde aufgelöst war, in dem vorletzten binnen 1 Stunde, in den übrigen aber selbst nicht binnen 20 Stunden. Nach Lösung der Gelatine in den beiden letzteren Gläschen prüfte ich die Flüssigkeit auf ihren Gehalt an Wasserstoffsupraoxyd. Es stellte sich heraus, daß derselbe durch ein so empfindliches Reagens wie die Mischung von Stärke mit Jodcadmium und Stückchen Eisenvitriol nicht nachzuweisen war. Daraus sind wir berechtigt zu schließen, daß die Auflösung der Gelatine in den letzten Gläschen stattgefunden hat, weil eine Zersetzung des Wasserstoffsupraoxyds erfolgt ist, daß also eine Auflösung der Gelatine in Gegenwart selbst ge-

ringer Mengen von Wasserstoffsupraoxyd nicht zustande zu kommen vermag.

Versuch 3. Wie ist so starke Einwirkung dieser Substanz auf Papajotin zu erklären? Darauf giebt uns eine Antwort der Versuch, von welchem die Photogramme B 3 und B 4 stammen. Fügen wir in das Gläschen, in welchem dank Zusatz von H_2O_2 die Gelatine sich im Laufe von 24 Stunden nicht zu lösen vermochte (s. Versuch I), einen Tropfen Schwefelammonium hinzu, so bemerken wir sofort, daß der Auflösungsprozeß der Gelatine von neuem in Erscheinung tritt. Nach einer Stunde geht die ganze Gelatine in Lösung über, wie auf Phot. B 4 ersichtlich ist. Daraus ergiebt sich, daß das H_2O_2 die Wirkung des Papajotins nicht infolge einer Zerstörung der letzteren aufhebt, sondern infolge einer Umwandlung des thätigen Prinzips in eine oxydierte Form, in der dasselbe Wirksamkeit einbüßt, und infolge der Unmöglichkeit der Reduktion dieses Prinzips in Gegenwart des H_2O_2. Das thätige Prinzip des Enzyms ist also eine Substanz, die fähig ist, sich zu oxydieren und sich zu reduzieren.

Man könnte uns entgegnen, daß in unserem Versuche das H_2O_2 indirekt den Auflösungsprozeß der Gelatine beeinflußt haben mochte, ohne die thätige Subtanz des Enzyms zu beeinflussen, und daß das Schwefelammonium nun dadurch wirkte, daß es das H_2O_2, welches die Enzymwirkung beeinträchtigte, beseitigt hatte.

Um diese Entgegnung zu entkräften, unternahm ich eine Reihe von Experimenten, mit dem Zwecke, ein von H_2O_2 befreites Papajotin, dessen thätiges Prinzip völlig oxydiert ist, zu erhalten und darauf zu versuchen, dieses Prinzip einer Reduktion zu unterwerfen.

Versuch 4. Ich ging in folgender Weise vor: Ich löste 1,0 Papajotin in 20,0 Wasser und fügte 4,0 Wasserstoffsupraoxyd hinzu. Nach 24 Stunden wurde die Flüssigkeit filtriert und das Filtrat mit dem doppelten Volumen Alkohol absolutus versetzt. Der erhaltene Niederschlag wurde mit Alcohol ausgewaschen, getrocknet und in 10,0 Wasser gelöst. Weil die Lösung, obgleich nur schwach, aber dennoch auf Gelatine einwirkte, zog ich den Schluß, daß es mir nicht gelungen war, das thätige Prinzip des Papajotins völlig zu oxydieren. Als ich aber zu diesen Versuchen eine Gelatine zu benutzen anfing, die vorher 24 Stunden lang in einer Lösung von H_2O_2 gelegen hatte und darauf sorgfältig getrocknet war, so vermochte meine Papajotinlösung den Gelatinestreifen auch binnen

12 Stunden nicht aufzulösen. Es war also klar, daß in meinen ersten Versuchen das oxydierte thätige Prinzip unter dem Einfluß von Substanzen, die in der Gelatine selbst enthalten, reduziert wurde. Nachdem ich ein solches inaktives Papajotin bereitet hatte, setzte ich zu der Lösung desselben einen Tropfen $(NH_4)HS$-Lösung hinzu und bekam eine Flüssigkeit, in der sich das Gelatinestreifchen sehr schnell auflöste[1]). Auf Phot. C ist dieser Versuch abgebildet. In den zwei Reagensgläschen rechts befindet sich eine 2-prozentige Lösung von oxydiertem Papajotin und in zwei anderen dieselbe Lösung mit einem Zusatz von je einem Tropfen $(NH_4)HS$-Lösung. Phot. C 2 ist nach 5 Minuten, C 3 nach 12 Stunden aufgenommen.

Der Versuch läßt es unzweifelhaft erscheinen, daß das thätige Prinzip des Papajotins faktisch eine Substanz repräsentiert, die fähig ist, sich zu oxydieren und dann sich zu reduzieren. Weil aber die Haupteigenschaft der Enzyme darin besteht, daß sie bei ihrer Thätigkeit nicht aufgebraucht werden, so darf man kaum bezweifeln, daß die Wirkung der Enzyme auf alternierender Oxydation und Reduktion ihres thätigen Prinzips begründet ist.

Versuch 5. Viel leichter ist eine Abspaltuug des thätigcn Prinzips von Papajotin zu erreichen durch Erwärmen der Enzymlösung auf 100°. Ich pflege eine 2-proz. Lösung zu nehmen und erwärme zum Kochen, das etwa eine halbe Minute fortzusetzen ist; dann wird die Lösung abgekühlt und filtriert. Die Flüssigkeit wirkt gar nicht auf Gelatine — offenbar infolge einer gänzlichen Zerstörung des thätigen Prinzips in dem Enzym. Die Flüssigkeit enthält aber eine Substanz, die eine wichtige Rolle bei der Enzymwirkung spielt, wie aus dem folgenden Versuche zu sehen ist.

Versuch 6. Fügen wir zu 10 ccm einer zum Kochen erhitzten 2-proz. Papajotinlösung eine sehr geringe Menge, z. B. 2 Tropfen einer 10-proz. Lösung von gewöhnlichem Papajotin hinzu, so erhalten wir eine Flüssigkeit, die fähig ist, Gelatine ohne Rest aufzulösen. Dieselben 2 Tropfen zu 10 ccm Aqua destillata hinzugefügt, geben eine Flüssigkeit, die unfähig ist, Gelatine aufzulösen, und letztere in Oxyglutin umwandelt. Auf Phot. D 1 sind drei Reagensgläschen abgebildet: Das erste enthält Wasser und 2 Tropfen

1) $(NH_4)HS$ in meinen Versuchen beschleunigte nicht die Wirkung des gewöhnlichen Papajotins.

einer 10-proz. Papajotinlösung, das zweite eine zum Kochen erhitzte 2-proz. Papajotinlösung, das dritte dieselbe Lösung mit Zusatz von 2 Tropfen einer 10-proz. Papajotinlösung. Phot. D 2 ist die Abbildung der nämlichen Gläschen nach Verlauf von 2 Stunden, Phot. D 3 nach Verlauf von 24 Stunden. Wir sehen, daß die Gelatine nur in dem Gemisch der beiden Papajotinen sich aufgelöst hat; ein jedes für sich vermag dies nicht zustande zu bringen. Dieser Versuch, im Zssammenhang mit dem Vorgehenden. weist darauf hin, daß die lösende Wirkung des Papajotin durch das Vorhandensein in letzterem von zwei Substanzen bedingt ist: einer thätigen Substanz. welche beim Kochen abgespaltet und zerstört wird, und einer Substanz, welche in dem zum Kochen erhitzten Enzym enthalten ist. Diese Substanz wollen wir als Hilfssubstanz bezeichnen. Die zuerst genannte Substanz ist offenbar mit der oben erwähnten sich oxydierenden Substanz identisch. Damit das Enzym wirksam sei, genügen sehr geringe Mengen desselben, was eben auf seine Restitutionsfähigkeit hinweist. Die Mengen Hilfssubstanz müssen jedoch bedeutend größer sein, indem sonst die Gelatine sich nicht auflöst, sondern in Oxyglutin übergeht. Folglich ist in dem beschriebenen Versuche gewissermaßen die Synthese des Enzyms veranschaulicht.

Man könnte uns entgegnen, daß unser Versuch sich sehr einfach in der Weise deuten ließe, daß das zum Kochen erhitzte Enzym Stoffe enthält, die fähig sind, das Oxyglutin zu lösen, welches sich in der Mischung der beiden Papajotinen gebildet hatte. Diese Entgegnung erscheint auf den ersten Blick der Wahrheit sehr nahe. In der That haben wir bereits auf die Fähigkeit des Oxyglutins, sich in Säuren, Alkalien und Salzen zu lösen, hingewiesen, und haben gesehen, daß in Gegenwart dieser Stoffe eine Bildung von Oxyglutin nicht stattfindet. Und dazu kommt noch folgendes Faktum: Haben wir das Oxyglutin in einem Reagensgläschen vor uns, in welchem eine verdünnte wässerige Papajotinlösung enthalten war. so bemerken wir, nachdem die Flüssigkeit abgegossen und zum Kochen erhitztes und wieder erkältetes Enzym hinzugefügt wird. daß eine rasche Auflösung des Oxyglutins stattfindet.

Und dennoch ist diese Entgegnung unbegründet, wie nachfolgende Versuche darthun.

Versuch 7. Versetzen wir 10 ccm einer halbprozentigen ClNa-Lösung mit 1 Tropfen einer 10-proz. Papajotinlösung,

so bekommen wir eine Flüssigkeit, in der sich eine Gelatine ohne Bildung von Oxyglutin löst. Versuchen wir aber in derselben Flüssigkeit Oxyglutin (erhalten durch Einwirkung auf Gelatine einer verdünnten Lösung des Papajotins in destilliertem Wasser) aufzulösen, so sehen wir, daß dies nicht gelingen will. Die Auflösung der Gelatine ist hier folglich nicht damit zu erklären, daß das ohne Zuthun von NaCl gebildete Oxyglutin in der NaCl-Lösung sich auflöst, sondern damit, daß das NaCl neben der thätigen Substanz des Enzyms an der Spaltung und Auflösung der Gelatine teilnimmt. Das Kochsalz spielt hier also die Rolle, die wir der Hilfssubstanz zuschreiben.

Daraus sind wir zu schließen berechtigt, daß auch unsere Hilfssubstanz nicht die Rolle eines Lösungsmittel für das Oxyglutin spielen muß, sondern an dem Chemismus der Gelatinespaltung teilnimmt.

Das Verhältnis des Oxyglutins zur Gelatine klärt der folgende Versuch auf.

Versuch 8. Versetzen wir vier Reagensgläschen mit je 20^0 verdünnter Papajotinlösung (Konzentration 1 : 400) und erwärmen zwei von denselben auf 95—98°, worauf sie einer raschen Abkühlung unterworfen werden. Bringen wir nun in alle diese Reagensgläschen Gelatinestreifchen, die in Gazeüberzüge gehüllt sind. Wir sehen nach Verlauf von 24 Stunden, daß in der erwärmten Flüssigkeit die Gelatine sich gelöst hat und aus dem Gazeüberzuge herausgetreten ist, daß aber in den anderen Gläschen sich Oxyglutin gebildet hat, welches in dem Gazeüberzuge liegen geblieben ist. Diesen Versuch sehen wir auf Photogramm E 1 (Anfang des Versuches) und E 2 (nach Verlauf von 24 Stunden) abgebildet. Wir sehen, daß die Gelatine nur in zwei Gläschen sich vollständig gelöst hat. Das sind gerade diejenigen Gläschen, deren Inhalt zu Beginn des Versuches erwärmt wurde. Es stellt sich also heraus, daß ein Erhitzen des Papajotins beinahe bis zum Kochen die lösende Wirkung desselben erhöhen kann. Dies paradoxe Ergebnis habe ich wiederholt nachgeprüft, und an dessen Richtigkeit ist gar nicht zu zweifeln. Wo läge aber die Erklärung?

Wir hatten bereits gesehen, daß durch Erhitzen die thätige Substanz des Enzyms entfernt wird. In unserem Versuche ist offenbar nicht eine gänzliche Entfernung dieser Substanz erfolgt,

sondern blos eine Verminderung ihrer Quantität, wobei aber die Quantität der Hilfssubstanz die gleiche geblieben. Hieraus muß man schließen, daß zur Lösung der Gelatine ein Verhältnis zwischen Menge der thätigen Substanz und Menge der Hilfssubstanz erforderlich ist, das eine gewisse Größe nicht übersteigt. Wird diese Größe überschritten, so findet keine Auflösung der Gelatine statt, sondern es erfolgt die Bildung von Oxyglutin. Wir haben jedoch schon dargethan, daß die wirkende Substanz des Papajotins eine Substanz repräsentiert, welche der Oxydation und der Reduktion fähig ist, und daß sie eben dieser Fähigkeit ihre spaltende Wirkung auf Gelatine verdankt. Vergleichen wir diese Thatsache mit dem Ergebnis des zuletzt beschriebenen Versuches, so müssen wir annehmen, daß das Oxyglutin ein Spaltungsprodukt der Gelatine repräsentiert, welches einem kräftigeren Oxydationsprozeß, als die gelöste Gelatine entsprungen ist. Alles spricht dafür, daß das Oxyglutin ein Endprodukt bei der Spaltung der Gelatine durch Papajotin darstellt, die gelöste Gelatine aber — ein Zwischenprodukt. Davon überzeugt uns auch ein näheres Studium des zuletzt beschriebenen Versuches. Wir sehen, daß die in der Papajotinlösung sich auflösende Gelatine bei ihrem Austritt aus dem Gazeüberzuge in kleine pulverförmige Partikelchen umgewandelt wird, die am Boden des Gefäßes sich ansammeln und allen ihren Eigenschaften nach dem Oxyglutin ähnlich sind. Die Gelatine hatte sich also anfangs gelöst, darauf aber, in Gegenwart einer größeren Menge von Wasser, eine weitere Spaltung erlitten und angefangen in Oxyglutin überzugehen.

Auf Grund aller angeführten Versuche sind wir gehalten, folgenden Schluß zu ziehen über den Chemismus der Einwirkung von Papajotin auf Gelatine. Die wirkende Substanz der Enzyme verbindet sich mit der Gelatine durch Dazwischentreten der Hilfssubstanz zu einer großen Molekel, welch letztere, dank Oxydation der wirkenden Substanz, dem Zerfall anheimfällt. Ist die wirkende Substanz — im Verhältnis zur Hilfsubstanz — in sehr geringen Mengen vorhanden gewesen, so erscheint als Spaltungsprodukt gelöste Gelatine — im entgegengesetzten Falle — Oxyglutin. Die Teilnahme des Sauerstoffes an dem beschriebenen Prozeß unterliegt keinem Zweifel und konnte nur, dank den geringen Quantitäten, die dabei benötigt werden, unbeachtet bleiben. Offenbar sind kleinere Quantitäten zur Auflösung der Gelatine und größere zur Bildung

von Oxyglutin notwendig. Darum haben wir das letztere so genannt.

Die Richtigkeit unserer Theorie der Enzymwirkung erhellt aus dem Vorhandensein von Enzymen, mit Bezug auf welche die Thatsache festgestellt ist, daß sie des freien Sauerstoffes bedürfen. Diese Enzyme tragen den Namen von Oxydasen.

Die Lehre von den Oxydasen wird mit mehr Eifer ausgearbeitet, seitdem man die Eigenschaften des von der japanischen Pflanze Rhus vernicifera stammenden Saftes, welcher an der Luft schwarz wird und den bekannten schwarzen Lack bildet, studiert hat. Es stellte sich heraus, daß dieser Prozeß durch ein Ferment, das man Laccase benannt hat, bedingt ist. BERTRAND wies nach, daß das Ferment Hydrochinon, Pyrogallol und Tannin oxydiert, wobei Absorption von Sauerstoff aus der Luft stattfindet.

Die Trennung der Oxydasen von hydrolisierenden Enzymen ist in einigen Fällen sehr schwer auszuführen, wie solches aus folgenden Thatsachen hervorgeht.

Es ist bekannt, daß als charakteristische Reaktion auf Oxydasen das Blauwerden einer Guajacharztinktur betrachtet wird. Mit dieser Reaktion haben BERTRAND und BOURQUELOT Oxydasen in einer großen Anzahl von Pilzformen nachgewiesen. Und es stellt sich indessen heraus, daß die Reaktion bei Abwesenhelt von Luft, z. B. nach deren Verdrängung durch einen längere Zeit hindurch eingeleiteten Wasserstoffstrom stattfindet. NASSE, der diese Thatsache entdeckt hat, nimmt daher an, daß die Reaktion mit der Guajactinktur nicht das Resultat einer Oxydation des Guajacharzes bildet, sondern einer Hydrolisierung des letzteren. Ob BERTRAND und BOURQUELOT das Richtige treffen, oder ob NASSE, dürfte sich kaum mit Hilfe der üblichen chemischen Untersuchungsmethoden feststellen lassen. Die Lösung dieser Frage ist aber nicht von Belang, indem schon die Existenz einer Meinungsverschiedenheit darauf hinweist, daß es sich hier um sehr geringe Sauerstoffmenge handelt.

Die von uns entwickelte Theorie, die als wirksames Prinzip der Enzyme eine leicht oxydierbare und reduzierbare Substanz annimmt, also dieselbe Substanz, der die Enzyme ihre zersetzende Einwirkung auf H_2O_2 verdanken, widerspricht den in der Wissenschaft allgemein vertretenen Ansichten. So schreibt z. B. BOURQUELOT: „Man muß annehmen, daß die Fähigkeit H_2O_2 zu zersetzen, falls sie wirklich dem Fermente zukommt, unabhängig ist von seiner fermentativen Fähigkeit. Es ist wahrscheinlicher, daß

sie die Eigenschaft einer das Ferment begleitenden Beimengung ausmacht.“

NEUMEISTER glaubt seinerseits, daß die zersetzende Wirkung der Enzyme auf H_2O_2 und ihre spaltende Wirkung auf organische Substanzen durch verschiedene in den Enzymen enthaltene Atomgruppen bedingt wird. Als Stütze solcher Ansichten führt man Versuche von JACOBSON an, dem es gelang, durch Erwärmen von Emulsin auf 62° und von Trypsin auf 72° diese Enzyme ihrer Fähigkeit zu berauben, H_2O_2 zu zerlegen, ohne ihnen dabei die Fähigkeit zu nehmen, als Fermente wirken zu können. JACOBSON's Versuche verlieren aber ihre Bedeutung als Beweis zu Gunsten der Ansichten beider genannten Chemiker, nachdem von uns festgestellt worden ist, daß die Enzymwirkung auf der Wirkung geringer Mengen einer oxydierbaren Substanz beruht. Diese Mengen sind offenbar nicht imstande, eine so grobe Reaktion zu liefern, wie das Auftreten von Sauerstoffbläschen aus dem H_2O_2.

Um dies zu erhärten, wenden wir uns zu unserem Versuch No. 6. Dort hatten wir eine geringe Quantität nicht erhitzter Papajotinlösung gemengt, und es ist leicht zu sehen, daß in der enthaltenen Mischung auf Zusatz von H_2O_2 gar keine Sauerstoffbläschen aufsteigen. Weil aber in der nicht erhitzten Papajotinlösung auf Zusatz von H_2O_2 ziemlich bedeutende Mengen von O-Bläschen sich bilden, so ist das Fehlen der letzteren in der Mischung aus Versuch No. 6 nur dadurch zu erklären, daß bei der geringen Quantität des sich abscheidenden Sauerstoffes dieser in der Flüssigkeit sich löst. Das Fehlen der Reaktion mit H_2O_2 (Bildung von O-Bläschen) kann also keineswegs als Beweis dafür dienen, daß in der betreffenden Lösung die oxydierbare Substanz nicht zugegen ist, welche die Zerlegung des H_2O_2 hervorruft.

Man muß sich in derselben Weise die Thatsache erklären, warum manche Enzyme, wie z. B. Pepsin, Trypsin, Labferment nach wiederholten Niederschlägen mit Alkohol und Auflösen in Wasser nicht mehr aus H_2O_2 O-Bläschen zu entwickeln vermögen.

BOURQUELOT führt zu Gunsten seiner Auffassung noch folgenden Versuch an: „Wenn man, sagt er, irgend ein Ferment — z. B. Emulsin — nach der Einwirkung von Wasserstoffsupraoxyd in Ueberschuß mit Alkohol niederschlägt und dann wieder in Wasser auflöst, so stellt sich heraus, daß das Ferment auf H_2O_2 nicht mehr einwirkt, aber noch fähig ist, Amygdalin zu zerlegen.“ Nach

alledem, was oben auseinander gesetzt wurde, dürfte es klar sein, daß dieser Versuch nur in dem Falle als Beleg für die Richtigkeit der Ansichten BOURQUELOT's dienen könnte, wenn letzterer bewiesen hätte, daß alles wirksame Prinzip des Emulsin vom H_2O_2 oxydiert worden ist. Wir sind im Rechte, dies zu bezweifeln, indem wir aus unseren Versuchen wissen, wie schwer eine Oxydation sich erzielen läßt. Es ist außerdem noch nachzuweisen, daß das oxydierte wirksame Prinzip nach Entfernung H_2O_2 sich nicht wiederum zu reduzieren vermochte.

Indessen, noch abgesehen von unseren Versuchen, giebt es in der Litteratur Thatsachen, die gegen die Auffassung von BOURQELOT sprechen. So überzeugten sich z. B. OSBORN und CAMPBELL, indem sie Diastase der Reinigung unterwerfen, daß ein sehr langes Reinigen die Diastase ihrer Wirksamkeit beraubt. Sie glauben daher, daß die Diastase, um wirksam zu sein, einer komplimentären Substanz, die eben bei der Reinigung verloren geht, bedürftig ist. Eine derartige Substanz wäre nach ihnen das Eiweiß. Dieser Schlußfolgerung läßt sich jedoch nicht beistimmen. Es ist nämlich leicht nachzuweisen, daß, wenn man Diastase durch wiederholtes Niederschlagen und Wiederauflösen reinigt, außer Eiweiß noch eine Substanz verloren geht, die die Fähigkeit besitzt, H_2O_2 zu zerlegen, was eben, wie wir sahen, BOURQUELOT bewogen hat, anzunehmen, daß diese Fähigkeit einer in dem Enzym enthaltenen Verunreinigung (impurété) zukomme. Betrachten wir also die Versuche von OSBORN und CAMPBELL vom Standpunkt der von uns aufgefundenen Thatsachen, so müssen wir zugeben, daß bei den Versuchen dieser Autoren die Diastase ihrer Wirksamkeit infolge der Oxydation des thätigen Prinzips beraubt wurden.

Ich bemühte mich, die beschriebene Methode für die Erklärung der Wirkung der anderen Enzyme (Trypsin, Emulsin, Diastase) anzuwenden und erhielt folgende Resultate:

1) H_2O_2 sistiert nicht die leimlösende Wirkung des Trypsins. Ich bemerke, daß bei diesen Versuchen die Gelatinestreifchen sich mit zahlreichen O-Bläschen bedecken. Daher muß sich in diesem Falle die Unwirksamkeit des H_2O_2 durch die rasche Zersetzung dieses Reagenzes erklären. Es ist interessant, daß die Zersetzung des H_2O_2 in der Trypsinlösung nicht eher beginnt, als bis in diese Lösung die Gelatinestreifchen getaucht werden. Diese

Thatsache bestätigt die von uns weiter entwickelte Hypothese, daß bei der Enzymwirkung die Regeneration des lebendigen Eiweißes stattfindet (weil selbiges stärker das H_2O_2 zerlegt als die Enzyme).

2) H_2O_2 sistiert gleichfalls nicht die hydrolytische Wirkung der Diastase und des Emulsins. Diese Thatsache erklärt sich durch folgenden Versuch: Wenn wir die durch Erwärmung verflüssigte Gelatine der Wirkung des Papajotins und H_2O_2 unterwerfen, so verliert die Gelatine dabei die Fähigkeit zu erstarren. Es wirkt daher nur dann das H_2O_2 hemmend auf die Thätigkeit der Enzyme, wenn der Nährstoff den festen Körper darstellt. Die Erklärung dieser Thatsache muß wahrscheinlich darin liegen, daß bei der Wirkung auf festen Nährstoff nur ein kleiner Teil des Enzyms an dem Prozesse teilnimmt. Hier also muß die mehrmalige Reduktion des thätigen Stoffes des Enzyms stattfinden, d. h. der chemische Prozeß, welcher durch H_2O_2 verzögert wird.

Es ist selbstverständlich, daß die beschriebenen Versuche mit Trypsin und Diastase keinesfalls gegen unsere Theorie sprechen. Sie zeigen nur, daß diese Enzyme für die Studien der Enzymwirkung nach unserer Methode ungeeignet sind.

Nachdem ich zu dem Schlusse gelangt bin, daß das wirksame Prinzip der Enzyme eine Substanz darbietet, die der Oxydation und Reduktion fähig ist, machte ich den Versuch, die chemische Zusammensetzung dieser Substanz zu bestimmen, eine Aufgabe, die sehr schwierig sein muß bei den geringen Quantitäten an thätigem Prinzip, welche zur Wirkung der Enzyme sich als genügend erweisen. Allein die Lösung der Aufgabe erfuhr eine bedeutende Erleichterung, als es sich herausstellte, daß das wirksame Prinzip, indem es in Gegenwart von großen Mengen Wasser der Oxydation anheimfällt, sich aus der Flüssigkeit mit der hauptsächlich aus Eiweißstoffen bestehenden Trübung abscheidet, daher auf ein Filter gesammelt und auf seinen Gehalt an Eisen geprüft werden kann. Diese Abscheidung ist am besten dadurch zu erklären, daß die oxydierte thätige Substanz nach ihrer Abspaltung von den Enzymen sich in Gegenwart großer Mengen Wasser nicht zu reduzieren vermag, um wieder in Lösung überzugehen.

Unter Benutzung dieser Beobachtung wandte ich folgende Methode an, um die wirksame Substanz des Enzym zu analysieren. Ich bereitete eine 10-proz. völlig klare Papajotinlösung, verdünnte dieselbe mit 20 und mehr Volumina Wasser und schüttelte

die Flüssigkeit eine halbe Stunde lang kräftig durch, um eine Oxydation des thätigen Prinzips hervorzurufen. Sicherer und schneller kommt man zum Ziele, wenn man die Flüssigkeit mit einigen Kubikcentimeter H_2O_2 versetzt. Die entstandene Trübung muß man sorgfältig durch ein kleines aschefreies Filter abfiltrieren. Die Prozedur wird dadurch vereinfacht, daß man die zu filtrierende Flüssigkeit tropfenweise aus einer umgestürzten Flasche auf das Filter ausfließen läßt. Ist das Filtrat trübe, so muß man es zum zweiten Male durch dasselbe Filter gehen lassen.

Nach Verbrennung des Filters erhalten wir eine Asche mit einem Stich ins Gelbliche. In einigen Tropfen Salzsäure aufgelöst, giebt sie eine hellgelbe Lösung. Diese Lösung, mit Wasser verdünnt und mit Ammoniak und Schwefelammonium versetzt, liefert einen dunkelbraunen oder sogar schwarzen Niederschlag, in welchem sich leicht die Gegenwart von Eisen und Phosphorsäure nachweisen läßt.

Bei Anwendung dieser Untersuchungsmethode auf andere Merk'sche Papajotinpräparate, über die ich verfügen konnte, sowie auf andere Enzyme, Trypsin, Pepsin, Emulsin, Diastase, erhielt ich das ähnliche Resultat. Die bei Verdünnung der Lösung dieser Enzyme sich bildende Trübung war zuweilen kaum bemerkbar, allein stets, bei Benutzung einer genügenden Menge Enzym, gelang es mir, in derselben die Gegenwart von Eisen und Phosphorsäure nachzuweisen.

Wie ist der Befund von Eisen und Phosphorsäure in der Asche zu erklären? Diese Bestandteile als zufällige Beimengung zu betrachten, wäre bei deren so konstantem Vorkommen offenbar unthunlich. Auch läßt sich nicht annehmen, daß sie in den Enzymen in Form von organischen Verbindungen präexistieren, indem sie vor dem Verbrennen des Enzyms nicht nachweisbar sind. Andererseits ist es bekannt, daß Eisen und Phosphorsäure Bestandteile der Nukleïne bilden, die in jedem Protoplasma sich befinden, aus welchem eben auch die Enzyme stammen. Später werden wir sehen, daß das Protoplasma oxydierende Eigenschaften besitzt und daß diese Eigenschaften gerade durch die eisenhaltigen Nukleïne bedingt erscheinen (Spitzer).

Das alles liefert einen Beweis dafür, daß das Eisen und die Phosphorsäure, die wir in den Enzymen entdeckt haben, Zerfallsprodukte von eisenhaltigem Nukleïn sind, welches aus dem Protoplasma in die Enzyme übergetreten ist. Dasselbe muß also auch in den

Enzymen die nämlichen Eigenschaften, die es im Protoplasma besessen, beibehalten, d. h. die Fähigkeit sich zu oxydieren und sich zu reduzieren, folglich oxydierend zu wirken.

Das Eisen wurde tetrimetrisch bestimmt in 8 Niederschlägen, die nach der oben beschriebenen Methode erhalten waren. Es ergab sich, daß diese Niederschläge bis 0,5 Proz. Eisenoxyd enthielten.

Unsere Versuche weisen also einerseits darauf hin, daß die Enzymwirkung auf Oxydation und Reduktion irgend einer Substanz begründet ist, andererseits aber, daß die in den Enzymen befindliche oxydations- und reduktionsfähige Substanz eisenhaltiges Nukleïn ist. Hieraus folgt, daß das wirksame Prinzip der Enzyme eisenhaltiges Nukleïn ist. Wir wollen es **Bionukleïn** nennen.

Oben hatten wir nachgewiesen (s. Versuch 6), daß bei der Einwirkung geringste Mengen von Bionukleïn ausreichend sind. Hieraus ist erklärlich, daß wir auf solche Enzympräparate stoßen können, in welchen das Eisen nur in Form von Spuren enthalten sein wird. oder selbst auf solche, in welchen wir das Eisen auch mit den feinsten Reagentien nicht zu entdecken imstande sein werden. Diese Präparate lassen sich darstellen nach der in Versuch 6 beschriebenen Methode. Es ist klar, daß die Existenz dieser Präparate keineswegs im Widerspruch mit unserer Theorie stehen wird.

Infolge unserer Versuche bestehen also die Enzyme aus Bionukleïn und Hilfssubstanz, durch deren Vermittlung das Bionukleïn mit der spaltenden Substanz vereinigt. Diese Spaltung muß das Resultat einer Oxydation des Bionukleïn und einer Loslösung desselben von einer zusammengesetzten Molekel, die ein Komplex der sich spaltenden Substanz und des Enzyms bildet. ausmachen.

Unsere Versuche erklären auch die Rolle der Salze bei der Einwirkung von Papajotin auf Gelatine. Die Salze sind in doppelter Weise thätig: entweder sie lösen das Oxyglutin oder sie wirken als Hilfssubstanz.

Unsere Versuche beleuchten auch die von Bordet, Gruber u. A. entdeckten Thatsachen über die sogen. baktericiden Substanzen, die ja ebenfalls Enzyme repräsentieren. Man hat nämlich gefunden, daß frisches Serum von gegen Cholera immunisierten Tieren imstande ist, Choleravibrionen aufzulösen, daß es aber dieser Fähigkeit durch

längeres Stehenlassen oder durch Erhitzen verlustig geht. Des weiteren hat sich ergeben, daß man solches Serum seine auflösende Wirkung wiedergewinnen läßt, wenn man frisches Serum normaler Tiere hinzusetzt. Letzteres enthält aber, wie BUCHNER gezeigt hat, geringe Mengen baktericider Substanz. Die Parallele zwischen diesen Versuchen und unserem Versuch 6 ist eine vollkommene. Wir müssen daher annehmen, daß die baktericide Substanz Bionukleïn enthält und daß die im erhitzten Serum enthaltene zusammenleimende Substanz, die man Agglutinin benannt hat, und die ebenfalls zur Auflösung der Vibrionen nötig ist, unserer Hilfssubstanz entspricht. Solch eine Parallelität erklärt die Wirkungsweise der baktericiden Substanzen sowie die Specifität der letzteren und des Agglutinins. Nach unserer Auffassung besteht also die baktericide Substanz gleich allen anderen Enzymen aus Bionukleïn und einer Hilfssubstanz.

Es wäre interessant, vom Standpunkte unserer Theorie aus die Toxine der pathogenen Mikroorganismen zu untersuchen, die ja auch Enzyme zu sein scheinen. Ich konnte bloß wenige zahlreiche Versuche am Diphtherietoxin anstellen, das ich vor einigen Jahren gewonnen hatte und seitdem bei mir aufbewahrt habe. Anfangs war es ein sehr starkes Toxin: 0,03 davon töteten in 24 Stunden ein Meerschweinchen von 250 Gramm Gewicht. Seither ist die Kraft dieses Toxins bedeutend gesunken und sind jetzt 0,15 davon notwendig, um ein Meerschweinchen von angegebenem Gewicht zu töten.

Bei vorsichtiger Neutralisation des Toxins mit Salzsäure und nachfolgender starker Verdünnung der Flüssigkeit mit Wasser bekam ich eine Trübung, in der Eisen und Phosphorsäure enthalten waren. Ist all das, was oben hinsichtlich der Enzyme auseinandergesetzt wurde, auf die Toxine der Diphtherie anwendbar, so dürfen wohl die EHRLICH'schen Toxoide als nichts anderes denn als die Toxine sich erweisen, die ihres Bionukleïnes infolge der Oxydation verlustig gegangen sind.

Ich habe nach derselben Methode antidiphtheritisches Serum untersucht, in welchem ein Antitoxin enthalten ist, das von vielen Gelehrten als ein Enzym aufgefaßt wird. Und auch aus diesem Serum ist es mir gelungen, mittels der Verdünnungsmethode eine Trübung abzuscheiden, in welcher neben den Eiweißstoffen eisenhaltiges Nukleïn nachweisbar ist.

Natürlich, damit sich Schlüsse ziehen lassen, erheischen die angeführten Versuche eine Wiederholung in größerem Maßstabe.

Aus allen Daten dieses Kapitels folgt aber, daß die Wirkung der Enzyme auf Oxydation und Reduktion geringster Mengen von in den Enzymen enthaltenem Eisen begründet ist.

Das Eisen kann also mit vollem Rechte als „Enzym aller Enzyme" bezeichnet werden[1]).

Wenn für die Wirkung der Enzyme sehr geringe Mengen derselben ausreichend sind, so muß die Menge des in diesen Enzymen enthaltenen Eisens (welchem die Enzyme ihre Wirksamkeit verdanken) noch viel geringer sein. Sie kann, wie wir gesehen haben, so unbedeutend sein, daß sie jeglicher chemischen Untersuchung entgeht. Das Studium der Enzyme führt uns also in ein Gebiet von Erscheinungen ähnlich der von NAEGELI entdeckten oligodynamischen Erscheinungen. Es dürfte uns daher der Irrtum von ARTHUS erklärlich werden, der annehmen zu müssen glaubte, daß die Enzyme nicht materielle Stoffe, sondern Stoffeigenschaften darbieten.

Kapitel III.

Unsere Voraussetzung, daß die Enzymwirkung eine vitale Erscheinung sei, hat uns dazu verholfen, den Chemismus dieses rätselhaften Prozesses aufzuklären und muß also als richtig anerkannt werden. Weil aber der Chemismus aller vitalen Erscheinungen, wie wir oben andeuteten, überall der nämliche sein muß, so muß der Prozeß, welcher der Enzymwirkung zu Grunde liegt, auch den übrigen vitalen Erscheinungen zu Grunde liegen. Der Chemismus der Vitalität des Protoplasmas[2]) besteht folglich ebenfalls in einer Spaltung, bedingt durch Oxydation des im Protoplasma enthaltenen Bionukleïns, ein Schluß, der durch viele Thatsachen gestützt wird.

---

1) Vor kurzem ist mir bekannt geworden, daß BERTRAND auf Grund seiner Versuche annimmt, daß die oxydierende Wirkung der Oxydasen durch ihren Gehalt an Mangan bedingt wird, eine Theorie, welche der unseren sehr nahe steht, indem Mangan und andere schwere Metalle (z. B. Kupfer) fähig zu sein scheinen, in manchen Fällen das Eisen zu ersetzen. Daß die schweren Metalle in den Organismen die Rolle von Agentien spielen, welche Oxydation und Reduktion hervorrufen, das nimmt auch Dr. ILJIN, Assistent vom Prof. A. DANILEWSKY, an.

2) Unter dieser Benennung wollen wir zunächst bloß die im Protoplasma enthaltene lebendige Substanz bezeichnet wissen.

Daß jegliches Protoplasma Sauerstoff benötigt, hatten wir schon erwähnt. Des weiteren ist ja schon längst bekannt, daß das Protoplasma gleich den Oxydasen oxydierende Eigenschaften besitzt. Letztere offenbaren sich sowohl im lebenden Organismus als auch in dem aus dem Organismus entfernten Organen und in den Organsäften. SCHMIEDEBERG, JAQUET, ABELES und BIARNES, SALKOWSKI, MEDWEDJEFF, SPITZER u. A. studierten diese Erscheinung, indem sie als Indikator der Intensität des Prozesses die Oxydation von Benzaldehyd und Salicylaldehyd, Benzyl- und Salicylalkohol, Chromogenen (α-Naphtol und Paraphenyldiamin) oder die Zersetzung von H_2O_2 benutzten. Die Mehrzahl der Autoren ist der Ansicht, daß die Oxydation bedingt wird durch eine Aktivierung des Sauerstoffes infolge einer Spaltung seiner Molekel durch Einwirkung der im Protoplasma enthaltenen reduzierenden Substanz. Das ist die sog. Theorie der „Aktivierung" des Sauerstoffes von HOPPE SEYLER. SCHMIEDEBERG widerspricht dieser Theorie. Er weist darauf hin, daß, im Falle man ihr beistimme, wir die Existenz von Regulatoren im Organismus annehmen müssen, die der Bildung des aktiven Sauerstoffes vorstehen. Es wäre aber sehr schwierig, sich die Wirkungsweise dieser Regulatoren klarzumachen. SCHMIEDEBERG führt noch die Thatsache ins Feld, daß der dem Organismus einverleibte Phosphor längere Zeit unverändert sich erhält. Daher will SCHMIEDEBERG die oxydierende Wirkung des Protoplasmas anders gedeutet wissen. Er nimmt an, daß von der sich oxydierenden Substanz Wasserstoff losgelöst wird und daß die frei gewordene Affinitätseinheit gewöhnlichen Sauerstoff bindet. Daß solch eine Loslösung bei der Thätigkeit der Organe stattfindet, beweisen die Synthesen, welche in dem aus dem Körper entfernten Organe vor sich gehen, z. B. die Synthese der Hippursäure aus Benzoësäure und Glykokoll. Diese Synthese ist unter der Bedingung möglich, daß von den bindenden Körpern Wasserstoff und Sauerstoff, die zu Wasser zusammentreten, abgespalten werden. Bei der Oxydation von Benzylalkohol muß Bildung von Wasser stattfinden und daher muß nach SCHMIEDEBERG der Chemismus des Prozesses der gleiche sein.

Eine Varietät der Theorie von SCHMIEDEBERG bildet die Theorie von MEDWEDJEFF. Er nimmt ebenfalls an, daß die oxydierende Wirkung der Organe bedingt wird durch Abscheidung von Wasserstoff aus der sich oxydierenden Substanz und Fixation des Sauerstoffes durch die frei gewordene Affinitätseinheit. „Daher, sagt er,

liegt keine Notwendigkeit vor, eine Erhöhung des Oxydationspotential des Sauerstoffes resp. einen Aktivitätszustand desselben anzunehmen. Der Schwerpunkt der ganzen Frage ist zu eruieren, wie die Abscheidung des Wasserstoffes vor sich geht.“ Dieses primum movens des Prozesses wird, nach MEDWEDJEFF, dadurch bedingt, daß das Protoplasma des Wasserstoffes zur Bildung von Amidoverbindungen bedürfe. Der Autor betont übrigens nicht die Richtigkeit seiner Voraussetzung.

Auf Grund seiner Untersuchungen nimmt SCHMIEDEBERG an, daß das Protoplasma dank eines in demselben enthaltenen Fermentes oxydierend wirke, welches er als Histozym bezeichnet. Eine ähnliche Hypothese entwickelt JAQUET, von dessen Untersuchungen weiter unten die Rede sein wird.

Da es in der That gelang, aus dem Protoplasma vieler Pflanzen oxydierende Enzyme (Oxydase) zu erhalten, so schien diese Hypothese uns sehr wahrscheinlich.

Wenn aber die im Protoplasma enthaltene oxydierende Substanz ein Enzym ist, so muß diese Substanz Bionuklein enthalten und durch Vermittelung der letzteren wirksam sein. Um dieses zu verifizieren, untersuchte ich Säfte von verschiedenen Pflanzen nach derselben Methode, die ich zur Abscheidung des Bionukleins der Enzyme benutzt hatte. Ich verdünnte mit großen Mengen Wasser die konzentrierten, jedoch vollkommen klaren wässerigen Auszüge aus verschiedenen Pflanzen und untersuchte die entstandene, äußerst minimale Trübung auf ihren Gehalt an Eisen und Phosphorsäure. Die Untersuchung ergab stets positive Resultate.

Ich hörte mit diesen Untersuchungen auf, nachdem ich gelesen hatte, daß von SPITZER eine detaillierte Nachforschung in derselben Richtung und mit denselben Resultaten an den Auszügen aus tierischen Organen ausgeführt worden ist. Seine Untersuchungen machen es unzweifelhaft, daß die oxydierende Fähigkeit der Organe durch ein eisenhaltiges Nuklein bedingt wird, welches unserem Bionuklein entspricht. Uebrigens hatte schon im Jahre 1893 GOTTSTEIN darauf hingewiesen, daß die Fähigkeit des Protoplasmas, H_2O_2 zu zerlegen (die ja ebenfalls, wie wir gesehen haben, auf einer oxydierenden Wirkung des Protoplasmas begründet ist), durch ein Nuklein bedingt wäre. Das Nuklein enthält aber bekanntlich stets Eisen.

Die Uebereinstimmung der Resultate meiner Untersuchungen und derjenigen SPITZER's besitzt eine um so größere Bedeutung,

als wir uns gänzlich verschiedener Untersuchungsobjekte bedient hatten und von ganz verschiedenen theoretischen Standpunkten ausgegangen waren. Die hauptsächliche Differenz zwischen unseren Ansichten besteht darin, daß ich die oxydierende Wirkung des Protoplasmas als eine vitale Erscheinung ansehe, deren Studium Licht auf den Chemismus der lebendigen überhaupt werfen kann, während Spitzer diese Wirkung als Ausdruck von Eigenschaften des toten Protoplasmas auffaßt. Offenbar hält es Spitzer, auf dem Boden der Zellenlehre fußend, für unmöglich, die Substanz der zerstörten Zellen als lebendige Substanz anzusehen. Derselbe Standpunkt drängte auch Schmiedeberg und Jaquet dazu, dieser Ansicht zu huldigen.

Wir werden aber gleich sehen, zu welchen Schwierigkeiten diese Ansicht führt. Die oxydierende Wirkung des zerstörten Protoplasmas ist offenbar eine Fortsetzung resp. ein Rest derjenigen Wirkung, die das Protoplasma im lebenden Organismus entfaltet hatte. Das giebt auch Spitzer zu, wie aus folgenden Worten sich ersehen läßt: „Es ist nicht unwahrscheinlich, sagt er, daß auch im lebenden Organismus die Oxydationsprozesse durch eisenhaltige Nukleoproteide bedingt werden.“ Indessen wäre eine derartige Annäherung von lebendem Protoplasma und totem Protoplasma, wo der Chemismus der Einwirkung ja gänzlich verschieden sein muß, kaum zulässig. Spitzer selbst scheint die Unhaltbarkeit des von ihm gewählten Standpunktes empfunden zu haben. Dies sieht man daran, daß er in seiner zweiten Abhandlung über die oxydierende Fähigkeit des Protoplasmas das zerstörte Protoplasma nicht mehr als tote Substanz bezeichnet, sondern demselben den Terminus „überlebendes“ beilegt, was eben bedeutet, daß es noch Leben enthält. Weil Spitzer diesen Terminus auch auf den jeder Organisation entbehrenden Organsaft (welcher gleichfalls oxydierende Eigenschaften besitzt) zu übertragen genötigt ist, so müssen wir in der Anwendung des genannten Terminus einen Beweis dafür erblicken, daß Spitzer es nicht mehr für möglich erachtet, sich streng an die Cellulartheorie zu halten und einen Schritt thut in der Richtung der Ansichten auf die vitalen Prozesse, die wir verfechten.

Jaquet zieht zu Gunsten seiner Ansicht, daß die oxydierende Wirkung dem toten Protoplasma zukomme, seine Experimente über den Einfluß 2-proz. Lösungen von Karbolsäure und von Chinin auf die Organe des Kalbes heran. Die Einwirkung dieser Lösungen vermochte die betreffenden Organe ihrer oxydierenden Fähigkeit

nicht zu berauben. Mit der Karbolsäure wurde jedoch bloß ein einziger Versuch ausgeführt und die desinfizierende Wirkung des Chinins ist bekanntlich unsicher. Daher ist Jaquet selbst von der beweisenden Kraft seiner Experimente nicht völlig überzeugt.

Den Experimenten von Jaquet sind die sorgfältigen Experimente von Spitzer gegenüberzustellen, der gefunden hat, daß die oxydierende Substanz durch Einwirkung von Hydroxylamin, Cyankali, starken Säuren, Alkalien und Alkohol zerstört wird. Es wäre demnach unrichtig, zu behaupten, daß die desinfizierenden Mittel auf die oxydierenden Substanzen des Protoplasmas nicht einwirken. Andererseits haben die Untersuchungen von Geppert, Behring u. A. erwiesen, daß die Abtötung der Mikroorganismen durch die desinfizierenden Mittel viel schwerer zu erreichen ist, als man früher glaubte. Wir meinen also, daß die Wirkung der desinfizierenden Mittel wohl kaum als Kriterium zur Unterscheidung der lebendigen Substanz von den Enzymen benutzt werden kann.

Aus alledem erhellt, daß die lebendige Substanz sowohl als die Enzyme Bionuklein enthalten und daher in naher Beziehung zu einander stehen müssen. Worin besteht diese Beziehung? Letztere wird durch folgende Betrachtungen klargelegt. Die lebendige Substanz ist eine für die Spaltung völlig vorbereitete Substanz, während weder das Enzym noch die Gelatine (oder überhaupt Stoffe, die von den Enzymen beeinflußt werden und die wir Nährstoffe nennen wollen) eine derartige Eigenschaft darbieten. Das Enzym muß sich mit der Gelatine resp. den anderen Nährstoffen verbinden und dann erst entsteht ein Komplex, welcher sofort nach seiner Bildung sich spaltet. Was ist das für ein Komplex? Da die Nährstoffe (wohin die Eiweißstoffe, die Fette und die Kohlehydrate gehören) Spaltungsprodukte von Molekeln der lebendigen Substanz darbieten, da andererseits das Enzym ebenfalls als Produkt derselben Sorte zu betrachten ist, so dürfte kaum zu bezweifeln sein, daß aus der Vereinigung von Enzym mit den Nährstoffen Molekel lebendiger Substanz entstehen müssen.

Dies würde uns die Beziehung erklären, die zwischen Enzym und lebendiger Substanz vorhanden ist, und die Widersprüche zum Ausgleich bringen, die mit Bezug auf die Enzyme in den Ansichten verschiedener Autoren sich geltend machen. So fassen manche von den letzteren, wie z. B. Haliburton, die Enzyme als Substanzen auf, welche die Eigenschaften von lebendigem Eiweiß besitzen,

andere wieder als leblose Körper, die katalytisch wirken. Aus unserer Auffassung geht hervor, daß das Enzym nicht lebendige Substanz repräsentiert, sondern bei dem Zusammentreffen mit den Nährstoffen lebendige Substanz bildet, welche sofort zerfällt, um wieder Enzym abzuscheiden. In dieser Bildung von lebendiger Substanz haben wir auch den Grund zu suchen, warum die Enzyme ähnlich der lebendigen Substanz wirken, indem sie die gleichen Spaltungen hervorrufen, die auch in der Zelle vor sich gehen. Diese Aehnlichkeit drängte Claude Bernard zum Ausspruche: „Alle im Organismus sich abspielenden Prozesse organischer Zerlegung resp. vitaler Zerstörung sind in letzter Instanz auf Gärung zurückzuführen. Die Gärung kann daher einen allen lebenden Geschöpfen gemeinsamen chemischen Prozeß darbieten."

Daß der vitale Prozeß und die Enzymwirkung einander sehr nahe stehen, das mußte uns schon die Aehnlichkeit der Erscheinungen zeigen, die bei der Wirkung der organisierten und der nichtorganisierten Fermente beobachtet werden, was ja auch beide mit demselben Namen zu belegen Veranlassung gegeben hatte. Diese Aehnlichkeit tritt besonders deutlich hervor an dem von Buchner dargestellten Ferment der Alkoholgärung, welches wahrscheinlich lebendige Substanz des Protoplasmas der Hefezellen ist, von der sich Glykose abgespalten hat. Bei der Einwirkung des Fermentes auf Glykose bildet sich lebendige Substanz, welche darauf genau so sich spaltet, wie es der Fall gewesen ist, als dieselbe im Protoplasma enthalten war. Wir betrachten daher als ganz überflüssig die von manchen Autoren ausgeführten Untersuchungen, welche zu beweisen bezweckten, daß das Buchner'sche Enzym die Glykose spalte, dank den in demselben enthaltenen Resten von lebendiger Substanz des Protoplasmas. Nicht durch die Reste lebendiger Substanz ist das Enzym wirksam, sondern durch Uebergang des Enzyms selbst in lebendige Substanz.

Daß in der lebendigen Protoplasmasubstanz Enzym enthalten ist, davon überzeugt man sich unschwer an Protozoen bei der Beobachtung der intracellularen Verdauung, wo eben als hervorstehendster Prozeß die Hydrolyse auftritt.

Es könnte nun den Anschein haben, daß wir aus jedem Protoplasma nicht nur Oxydase, sondern auch hydrolytische Enzyme zu gewinnen imstande seien. Letzteres gelingt aber in relativ seltenen Fällen und ist durch die Unvollkommenheit unserer chemischen Untersuchungsmethoden zu erklären. Man muß sich daher zur Ge-

winnung der Enzyme denjenigen Organen zuwenden, in welchen dieselben in Form von Vorräten sich ablagern, in großer Menge in Gestalt der sogenannten zymogenen Körner.

Bei ihrer Wirkung verbinden sich also die Enzyme mit den Nährstoffen und es erfolgt eine Regeneration von lebendiger Substanz. Daraus erklärt sich die allerrätselhafteste Seite der Enzymwirkung — ihre Specifität, worauf wir schon oben hingewiesen hatten. Diese Specifität veranlaßte E. Fischer anzunehmen, daß die Molekel des Enzyms und der Substanz, die durch dasselbe gespaltet wird, ähnliche geometrische Konfiguration besitzen müssen. Die Beziehung zwischen beiden vergleicht er mit der Beziehung zwischen Schloß und Schlüssel. Solch eine Beziehung wird vom Standpunkte unserer Theorie aus leicht begreiflich, indem, falls bei der Enzymwirkung eine Verbindung derselben Ingredientien stattfindet, welche in der lebendigen Substanz enthalten waren und in welche die lebendige Substanz bei dem Prozeß der Enzymgewinnung zerfallen ist, die sich verbindenden Molekel eine ähnliche Konfiguration besitzen müssen.

Nachdem wir als Substrat des vitalen Prozesses eine komplizierte Bionuklein enthaltende, lebendige Substanz anerkannt haben, müssen wir uns den vitalen Prozeß, wie folgt, denken: unter dem Einfluß der Oxydation des Bionukleins zerfällt die Molekel der lebendigen Substanz in ihre Bestandteile, und hierbei pflegt einer der letzteren weiterer vollkommener Spaltung zu unterliegen. Dem Zerfall der Molekel der lebendigen Substanz muß, wie wir oben erwähnten, die chemische Affinität mancher ihrer Bestandteile zum Wasser, wodurch eine Hydrolyse bedingt wird, beitragen.

Das ist der erste Akt, welchem als zweiter derjenige folgt, daß die Molekel der lebendigen Substanz regeneriert wird. Die Regeneration hat auf Kosten der Ingredientien stattzufinden, die der vollkommenen Spaltung entgangen sind und die wir als Reste der Molekel der lebendigen Substanz bezeichnen wollen, sowie auf Kosten der Nahrung, mit welcher der Bestandteil zugeführt wird, der einer vollkommenen Spaltung anheimgefallen ist. Das zum Aufbau der lebendigen Substanz nötige Bionuklein hat durch Reduktion des oxydierten Bionukleins zu entstehen, wie es bei der Enzymwirkung geschieht. Die Reduktion aber hat unter dem Einflusse der Wirkung von reduzierenden Substanzen stattzufinden, die im Protoplasma sich nachweisen lassen

(EHRLICH) und durch Spaltung der lebendigen Substanz zu entstehen scheinen.

Diese Formel ist der oben für die Enzymwirkung gegebenen Formel ähnlich. Trotz ihrer Einfachheit enthält sie, wie es des weiteren auseinandergesetzt werden wird, die Elemente zu einer Erklärung von verschiedenen chemischen Umwandlungen der lebendigen Substanz und von verschiedenen vitalen Erscheinungen. Wenn dem aber so ist, dann entspricht diese Formel der oben hervorgehobenen Grundforderung, daß sie nämlich alle vitalen Erscheinungen auf einen und denselben chemischen Prozeß zurückführen muß.

Die Ernährung der Organismen kann auf Substitution eines Bestandteiles der lebendigen Substanz, der einer völligen Spaltung anheimgefallen ist, durch einen neuen Bestandteil, der Nahrung entnommen, zurückgeführt werden. Der zuletzt genannte Bestandteil verbindet sich mit den der völligen Spaltung entgangenen Ingredientien der lebendigen Substanz und bildet eine neue lebendige Molekel. Jede neue lebendige Molekel wird zufolge dieser Theorie auf den behutsam vom Organismus ausgenutzten Trümmern resp. Ueberresten der alten Molekel aufgebaut. In dem von uns beschriebenen Prozesse müssen wir also das Wesen der Assimilationsprozesse erblicken, Diese Erklärung, betreffend das Wesen des Ernährungsprozesses, verleiht uns die Möglichkeit, diejenige rätselhafte Seite dieses Prozesses zu deuten, die in der Fähigkeit des Organismus, sich an die ihm gebotene Nahrung anzupassen, gegeben ist. Manche Organismen und Zellen können fast ausschließlich von Eiweißstoffen sich ernähren, andere von Kohlehydraten u. s. w. So arbeiten z. B. die Muskeln, indem sie fast ausschließlich Kohlehydrate verbrauchen.

Um diese Erscheinung zu erklären, hat PFLÜGER eine der unserigen ähnliche Theorie vorgeschlagen. Er stellt sich nämlich vor, daß die Muskeln aus dem Grunde auf Kosten der stickstofflosen Substanzen zu arbeiten vermögen, weil die stickstoffhaltigen von der Spaltung bewahrt bleiben und von neuem zum Aufbau der Muskelsubstanz benutzt werden. Indessen müssen wir zugeben, daß nach demselben Prinzip die Ernährung jeder Zelle vor sich geht. Dies weist darauf hin, daß die Fähigkeit der Ingredienten, die bei der Spaltung der lebendigen Molekel frei werden, sich ihrerseits völlig zu spalten, unter verschiedenen Bedingungen eine verschiedene ist, weshalb auch von diesen Ingredientien das eine der Spaltung anheimzufallen pflegt, die anderen aber erhalten bleiben.

Wir müssen weiter zugeben, daß eine Bedingung, die zur Spaltung eines gewissen Ingrediens beiträgt, die Gegenwart dieses Ingrediens in der die Zellen umgebenden Nahrung ist. Wodurch das zu erklären sei, läßt sich schwer sagen.

Mit der entwickelten Ernährungstheorie läßt sich auch eine andere sehr rätselhafte Seite des Ernährungsprozesses ins Licht stellen, diejenige nämlich, daß die Zelle die Fähigkeit besitzt, aus der umspülenden Mischung verschiedener Nährstoffe gerade die Stoffe herauszunehmen, die zum Aufbau der lebendigen Substanz notwendig sind. Diese elektive Fähigkeit ist vom Standpunkte unserer Theorie sehr einfach zu erklären. Falls in der Zelle alle Ingredientien der lebendigen Substanz mit Ausnahme eines einzigen gegenwärtig sind, so leuchtet ein, daß aus der Nahrung bloß das fehlende Ingrediens entnommen wird, und daß die Ingredientien unbenutzt bleiben, die in der Zelle bereits enthalten sind. Die Assimilation des fehlenden Ingrediens hat infolge der chemischen Affinität zu geschehen, die man zwischen den Bestandteilen zugeben muß, welche in die Zusammensetzung der lebendigen Substanz eingehen. Diese Affinität existiert nach Würtz zwischen Enzym und Eiweiß, welches von dem Enzym gespalten wird, und darauf konstruierte Würtz seine oben citierte Enzymtheorie. Die Bildung neuer Molekel lebendiger Substanz besteht also in einem Prozesse von Ergänzung der Ueberreste alter Molekel. Diese Ueberreste dürfte man demnach als Keime der lebendigen Substanz bezeichnen.

Man könnte uns entgegnen, daß im Falle der Prozeß der Zellenernährung bloß in einer Regeneration zerstörter lebendiger Molekel besteht, es unbegreiflich erscheine, warum die Zellen wachsen: bei Wachstum müsse ja eine Zunahme der Zahl von Molekeln der lebendigen Substanz stattfinden. Diese Entgegnung äßt sich aber beseitigen, wenn wir zugeben, daß beim Zerfall einer Molekel lebendiger Substanz zwei Keime entstehen — der eine Bionuklein enthaltend, der andere nicht — und daß jeder von diesen sich ergänzend eine ganze Molekel zu bilden vermag. In solchem Falle werden wir einen Prozeß von Vermehrung lebender Molekel vor uns haben, einen Prozeß, der immerhin durch Mithilfe von Keimen früherer Molekel zustande kommt. Dank diesen Keimen werden die sich aufbauenden neuen Molekel den früheren ganz ähnlich sein, indem die betreffenden Keime infolge

der chemischen Affinität aus dem Nährmaterial dieselben Atomgruppen anziehen werden, mit welchen sie in der lebendigen Substanz verbunden waren und welcher sie beim Zerfall der lebendigen Molekel verlustig gingen. Es findet also vom Standpunkte der entwickelten Theorie aus bei der Ernährung, sowie bei Wachstum eine Anziehung der von der lebendigen Substanz benötigten Stoffe durch chemische Affinität statt.

Zu Gunsten unserer Theorie spricht noch der Umstand, daß dieselbe uns die Möglichkeit verleiht, des näheren die Rolle der das Protoplasma und den Zellkern zusammensetzenden Stoffe kennen zu lernen. In der That, weil bei der Spaltung der lebendigen Substanz sich Reste von gespaltenen lebendigen Molekeln bilden und weil diese Reste, wenn die nötigen Ingredientien fehlen, zu neuen lebendigen Molekeln nicht zu regenerieren vermögen, so müssen in der Zelle Vorräte solcher Reste in Form von Fetten, Kohlehydraten, Eiweißstoffen, sowie Vorräte von Enzymen sich anhäufen. Dies wird durch die Morphologie bestätigt, die uns lehrt, daß in Wirklichkeit die aufgezählten Körper in den Zellen in Gestalt von Glykogenablagerungen, Fetttröpfchen, Eiweißkörner, Zymogenkörner etc. sich nachweisen lassen. Mit Bezug auf die Ablagerung von Fetttropfen kann sogar als feststehend gelten, daß sie durch Spaltung der lebendigen Substanz des Protoplasmas sich bilden, indem jene Ablagerung bei akuten fieberhaften Prozessen, bei der sog. fettigen Degeneration, beobachtet wird.

Unsere Theorie wirft auch ein Licht auf die Rolle des Kernes in der Zelle. In der That müssen nach dieser Theorie außer den Vorräten an Nähringredientien auch Vorräte an Bionuklein, das gleich anderen Ingredientien einen Rest gespalteter lebendiger Molekel darstellt, in der Zelle sich anhäufen. Das Bionuklein muß auch im Falle von Mangel an Ingredientien, mit welchen dasselbe lebendige Substanz zu bilden vermochte, in der Zelle sich anhäufen.

Der Kern repräsentiert aller Wahrscheinlichkeit nach nichts anderes als einen Vorrat an Bionuklein. Die Richtigkeit dieses Schlusses folgt zunächst daraus, daß, wie sämtliche Morphologen annehmen, der Kern aus Nuklein besteht, das Nuklein aber immer von Eisen begleitet ist. Nach den oben angeführten Untersuchungen von Spitzer darf das Vorhandensein von eisenhaltigem Nuklein im Kerne als erwiesen gelten.

Des weiteren reden zu Gunsten unserer Hypothese andere Thatsachen der Morphologie. So repräsentiert der Kern ein sehr

rätselhaftes Gebilde. Es läßt sich nicht, berücksichtigt man seine Trägheit, als lebendige Substanz ansprechen, andererseits aber spielt es bei einigen Prozessen eine so bedeutende Rolle, daß manche Histologen den Kern für wichtiger als das Protoplasma erklären. Die Rolle des Kernes in der Zelle beleuchten die Versuche, die von Balbiani, Hofer, Verworn u. A. mit der Merotomie ausgeführt wurden. Diese Versuche zeigten nämlich, daß das vom Kerne abgetrennte Protoplasma zu einer Zelle sich zu regenerieren unfähig ist, daß aber Protoplasma, welches Kernsubstanz enthält, solche Fähigkeit besitzt. Die Kernsubstanz spielt folglich in der Zelle die Rolle des Keimes der lebendigen Substanz.

Die wissenschaftlichen Thatsachen bestätigen also vollkommen die Hypothese von der Rolle des Kernes in der Zelle. Im Kerne sind demnach Bionukleinpartikelchen enthalten, die nicht in lebendige Substanz überzugehen vermochten, weil sie nicht mit dem zum Aufbau lebendiger Molekel nötigen Material zusammentreffen. Finden sie aber entsprechendes Material, so hat der Kern das nötige Bionuklein zum besagten Aufbau zu liefern. Dieser Aufbau muß in der Weise vor sich gehen, daß infolge der chemischen Affinität an das Bionukleinteilchen sich dieselben Atomgruppen anschließen, mit welchen das Bionuklein in der lebendigen Substanz verbunden gewesen war. Dieser Prozeß geht während des Wachstums der Zelle langsam von statten, schnell dagegen, wie wir später sehen werden, bei der Zellteilung.

Indes, abgesehen von den Erscheinungen des Wachstums, spielt der Kern auch eine wichtige Rolle bei den Erscheinungen der Heredität. Der Kern ist nach dem Ausdrucke von O. Hertwig der Träger der hereditären Eigenschaften. Diese Rolle wird vom Standpunkte unserer Theorie aus ebenfalls begreiflich. Wenn das Bionuklein befähigt ist, den Keim einer lebendigen Molekel in der Mutterzelle zu bilden, so muß er dasselbe leisten nach Uebergang in die Tochterzellen. Auch hier wird es durch chemische Affinität die nötigen Atomgruppen anziehen und lebendige Substanz bilden, die ganz ähnlich derjenigen ist, aus welcher das betreffende Bionuklein entstanden.

Indessen dokumentieren sich die hereditäreu Eigenschaften nicht bloß an einer Zellengeneration, sondern an einer ganzen Reihe von Generationen. Einen staunenswerten Grad erreichen die Erscheinungen der Heredität bei den höheren Tieren, bei welchen die Entwickelung des Individuums in gedrängter Form die Ent-

wickelung der Art repräsentiert. Solche Thatsachen weisen darauf hin, daß im Kerne, abgesehen von Bionuklein der Zelle, freilich in minimalen Mengen, auch Bionukleine von vorausgegangenen Generationen enthalten sind. Der Grund für diese Erscheinung wird weiter unten angegeben werden. Da die Menge der anderen Bionukleine nur unbedeutend ist im Vergleich zur Menge des Bionukleins der Zelle selbst, so spielt lediglich das letztere eine hervorragende Rolle und sind durch dasselbe, wie wir sehen werden, die in der Zelle vor sich gehenden Prozesse bestimmt.

Repräsentiert der Kern einen Vorrat an Bionuklein, der von der Zelle bei ihrem Wachstum ausgenutzt und dann vererbt wird, so müssen wir annehmen, daß der Kern nicht zum vitalen Prozeß als solchem notwendig ist, sondern lediglich um eine Fortsetzung des letzteren zu sichern. In der That zeigen die Versuche, daß abgetrennte Protoplasmastücke ziemlich lange Zeit beweglich bleiben, folglich Leben aufweisen ohne Mithilfe des Kerns. Bedarf aber der vitale Prozeß an sich des Kerns nicht, so wird die Existenz von kernlosen Organismen, die allerdings viele Autoren nicht zugeben wollen, verständlich. Zur Zahl derartiger Organismen gehören, wie wir uns ja überzeugt haben, die Hefezellen und die Bakterien. In allen diesen Organismen muß das beim Zerfall der lebendigen Substanz sich abspaltende Bionuklein sofort nach seiner Abspaltung eine neue lebendige Molekel bilden, indem es sich mit anderen hierzu nötigen Ingredientien vereinigt.

Dadurch ließe sich erklären, warum in diesen Organismen die Bionukleinreste nicht zu Vorräten aufgespeichert werden. Bei vielen Bakterien geschieht übrigens dennoch unter gewissen Bedingungen eine Aufspeicherung von Bionukleinvorräten, letztere bilden aber nicht einen Kern, sondern S p o r e n. Die Sporen müssen auch einen Vorrat an Bionuklein enthalten, indem sie Keime lebendiger Substanz repräsentieren. Dieser Vorrat ist aber mit einer festen Hülle versehen.

Wollen wir nun die von uns konstruierte Theorie auf die Erklärung der wichtigsten in der Zelle sich abspielenden chemischen Prozesse — Spaltungen, Oxydation und Synthesen anwenden. Indem der vitale Prozeß auf Spaltung beruht, ist es verständlich, daß die lebendige Molekel, die der letzteren anheimfällt, in dieselbe die sie zusammensetzenden Ingredientien mit hineinziehen wird. Zu ihren konstanten Ingredientien gehören die Eiweißstoffe, die Kohle-

hydrate und die Fette, zu den zufälligen — die dem Organismus fremden Substanzen, welche die Fähigkeit besitzen, an die lebendige Molekel sich anzugliedern.

Wir haben gezeigt, daß die Spaltung der Gelatine bei Einwirkung von Papajotin darin besteht, daß die Gelatine sich mit dem Enzym vereinigt und eine lebendige Molekel bildet, deren Spaltung nun die Spaltung der Gelatine herbeiführt. Aehnlich muß auch der Chemismus sich gestalten, der durch Organismen bedingten Spaltungen von Eiweiß, Kohlehydrate und Fette. Alle diese Substanzen müssen zunächst der lebendigen Substanz einverleibt werden und können erst dann der Spaltung anheimfallen.

Es ist hierbei wichtig, zu bemerken, daß die Spaltung, wie wir gesehen haben, mehr oder minder weit zu gehen vermag — abhängig von dem quantitativen Verhältnisse des Bionukleins und der Hilfssubstanz. Diese Thatsache hat eine sehr große Bedeutung, indem die Eigenschaften der bei der Spaltung sich bildenden Produkte gerade davon abhängig sind, wie weit der Spaltungsprozeß gegangen ist.

In den Fällen, wo in der Reihe der gebildeten Produkte solche mit Sauerstoff gesättigte Verbindungen, wie z. B. CO_2 vorkommen, trägt der gesamte Prozeß den Charakter der Oxydation. Indes ist das keine Oxydation im strengen Sinne des Wortes, indem der Sauerstoff nicht von außen, sondern von der sich spaltenden Molekel der lebendigen Substanz selbst entnommen wird. Gerade dank einem solchen Prozeß gehen im Organismus sehr leicht Oxydationen von schwer oxydierbaren Substanzen vor sich. Eine Erklärung hierfür durch eine andere Theorie dürfte auf unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen.

Anlangend die Synthese der Eiweißstoffe, Kohlehydrate und Fette, die hauptsächlich in den Pflanzen sich vollzieht, müssen wir, behufs einer Erklärung durch unsere Theorie die Annahme machen, daß beim Aufbau der lebendigen Molekel einfachere Ingredientien sich beteiligen können, als jene, in welche die Molekel im späteren gespaltet wird.

Auf Grund dieser Vorstellung würde die Produktion von Stärke durch die Pflanzen darin bestehen, daß CO_2 und H_2O mit dem Bionuklein und den anderen notwendigen Ingredientien sich verbinden und eine lebendige Molekel bilden, die des weiteren unter Abscheidung von Stärke und Sauerstoff sich spaltet. Wir müssen uns folglich denken, daß in dem komplizierten Komplexe von Atomen,

die in der lebendigen Molekel enthalten sind, die Stelle, die von den Atomen der Stärke eingenommen ist, nach Entfernung der letzteren durch eine entsprechende Menge Molekel CO_2 und H_2O ersetzt werden kann. Nach dieser Hypothese werden also CO_2 und H_2O assimiliert, dank ihrer Fähigkeit, die Stärke beim Aufbau der lebendigen Molekel zu ersetzen.

Unsere Ansicht über die Assimilation der CO_2 liefert eine mehr wahrscheinliche Erklärung des Prozesses, als die allgemein angenommene Theorie, nach der die CO_2 durch die Sonnenstrahlen in Gegenwart von Chlorophyll gespaltet wird und die gespalteten Molekel mit H_2O sich vereinigen, um Stärke zu bilden.

Diese Theorie ist schon aus dem Grunde wenig wahrscheinlich, weil sie von der Beteiligung am Prozeß der lebendigen Substanz ausschließt, da doch das Chlorophyll keine lebendige Substanz repräsentiert. Wir glauben daher, daß die Beteiligung des Lichtes an der Assimilation eine andere Erklärung haben muß, daß dasselbe hierbei nicht die Hauptrolle spielt, sondern eine indirekte Rolle. Dies wird durch Existenz einer ganzen Reihe von Pflanzen (Nadelhölzer, Aspidospermen, einige Liliaceen) bestätigt, die in völligem Dunkel zu wachsen und die Stärke zu bilden vermögen. Indem das Licht, wie ich weiter zeigen werde, eine reduzierende Wirkung besitzt, besteht seine Beteiligung an der Assimilation wohl darin, daß es oxydiertes Bionuklein reduziert. Als solches muß eine komplizierte eisenhaltige grüne Substanz betrachtet werden, die in den Chlorophyllkörnern eingeschlossen ist und das Chlorophyll als Bestandteil zu enthalten scheint. Bei der Reduktion wird diese Substanz entfärbt. Die reduzierende Wirkung des Lichts auf die Pflanzen läßt sich daraus entnehmen, daß die Blätter vieler Pflanzen in der Sonne blaß werden und im Dunkeln wiederum tiefgrün. Diese Erscheinung gestattet kaum eine andere Deutung, indem das nämliche Resultat herauskommt, wenn man die Lichtwirkung durch die Wirkung reduzierender Substanzen ersetzt — z. B. durch die Wirkung von Essigsäure und Zink auf ein alkoholisches Extrakt von grünen Blättern (nicht auf die Lösung von reinem Chlorophyll!).

Man könnte uns entgegnen, daß das Licht auf die Pflanzen im entgegengesetzten Sinne zu wirken pflegt, z. B. das Grünwerden von etiolisierten Pflanzen hervorrufe, daß also unsere Theorie falsch sei. Aber die Versuche an etiolisierten Pflanzen gestatten vom Standpunkte unserer Theorie aus eine ganz andere Erklärung, als

die allgemein angenommene und zwar die, daß das Licht ein Grünwerden der Pflanzen nur dadurch herbeiführt, daß es eine Reduktion des Bionukleins bewirkt und dadurch dem Wachstum der Pflanze Vorschub leistet, mithin auch die Bildung von Bionuklein vermehrt. dessen Ueberschuß nun in oxydierter Form in den Chlorophyllkörnern ablagert und deren Grünwerden veranlaßt.

In der That werden unter der Lichteinwirkung die etiolisierten Pflanzen nicht bloß grün, sondern sie fangen auch besser zu wachsen an. Daß das Licht nicht die direkte Ursache ist, welche die grüne Farbe der Pflanzen bedingt, sondern lediglich eine indirekte. erhellt daraus, daß es, erstens, gelingt bei niedriger Temperatur also bei Verlangsamung der vitalen Prozesse, farblose Pflanzen unter freiem Lichtzutritt zu kultivieren, und daß man, zweitens, grüne Pflanzen in völligem Dunkel — z. B. Zwiebeln, Safran u. a. heranzüchten kann.

Das wäre unsere Hypothese, deren Nachprüfung wir in Zukunft vorzunehmen gedenken.

Kapitel IV.

Aus unseren Erörterungen geht hervor, daß solche rein physiologische Erscheinungen, wie die Ernährung und das Wachstum und auch die Funktion des Zellkernes sehr leicht aus dem Chemismus des vitalen Prozesses, wie wir ihn oben präzisiert hatten, sich ableiten lassen. Um diese Erscheinungen zu erklären, brauchen wir also gar nicht auf die komplizierten und zugleich unsicheren morphologischen Daten zurückzugreifen. Das giebt uns Grund genug anzunehmen, daß auch die anderen Erscheinungen der Zellphysiologie auf demselben Wege ihre Erklärung finden können.

Wir müssen aber zunächst vom Standpunkte unserer Theorie aus präzisieren, was eine Zelle ist, indem die Morphologie trotz aller Versuche bisher auf diese Frage nicht zu antworten vermag. Sie liefert uns eine Beschreibung der feinsten Struktur des Protoplasmas und seiner Bestandteile: Fibrillen, kleinster Vakuolen, Granula und anderer durch das Mikroskop aufgedeckten Elemente. aber sie ist unfähig, uns die Bedeutung all dieser Elemente zu erklären. uns anzugeben, welches von den letzteren die Hauptrolle

spielt, d. h. lebendige Substanz enthält, und welche als nebensächlich zu betrachten sind. Ueber die Rolle des Kernes und seine Beziehung zum Protoplasma wissen wir aus der Morphologie auch beinahe gar nichts. Wir wissen nicht, ob er einen notwendigen Bestandteil der Zelle repräsentiert, oder ob die Zelle sich ohne Kern zu begehen vermag. Wir hatten darauf hingewiesen, wie vom Standpunkte der chemischen Theorie sich diese Rolle präzisieren läßt. Wir wollen nun herangehen, vom chemischen Standpunkte aus die Natur der Zelle, resp. das Prinzip, nach welchem ihrer Einrichtung vorgesehen wird, zu bestimmen.

Vom Standpunkte unserer Theorie muß die Zelle ein Aggregat lebendiger Molekel, die durch die Kraft der Kohäsion miteinander verbunden sind, repräsentieren. Nehmen wir aber dies an, so müssen wir zugeben, daß die lebendigen Molekeln der Zelle gleichartig sind, indem die Kohäsionskraft nur zwischen gleichartigen Molekeln wirksam ist, wie z. B. im Krystall. Eine Zelle läßt sich indessen mit einem Krystall nicht identifizieren, indem in der Zelle nicht eine einzelne Substanz, wie in dem Krystall, enthalten ist. In der Zelle sind außer der lebendigen Substanz noch die Spaltungsprodukte der letzteren enthalten. Diese Produkte sind meist flüssig, indem die Spaltung, wie wir gesehen haben, mit Hydrolyse einhergeht. Ein Teil der Spaltungsprodukte repräsentiert allerdings feste Körper, die in Gestalt von Körnern verschiedener Zusammensetzung sich ablagern.

Alle Produkte — die festen sowohl als die flüssigen — müssen innig mit der lebendigen Substanz vermengt sein, indem sie an jeder Stelle der lebendigen Substanz entstehen können. Diese Mischung repräsentiert nun gerade das, was man Protoplasma nennt. Was für eine Struktur hat diese Mischung? Ob die Form von Schaum, wie BÜTSCHLI annimmt, oder eines Reticulum, wie HEITZMANN und LEYDIG denken, oder einen fibrillären Bau, wie FLEMMING behauptet? Wenn wir schon einmal die Erklärung der vitalen Erscheinungen in ihrem Chemismus suchen, hat diese Frage nicht die ernste Bedeutung, die ihr von den Morphologen beigelegt wird. Was für eine Struktur wir auch dem Protoplasma zuschreiben mögen, müssen wir auf jeden Fall annehmen, daß die Molekel der lebendigen Substanz nahe aneinander liegen und ununterbrochene Reihen bilden. Denn nur bei solcher Disposition der Molekel kann die Mischung von Substanzen, die im Protoplasma eingeschlossen

ist, ihre Integrität durch die Kohäsionskraft bewahren. Die Molekelreihen lebendiger Substanz, welche die Zelle nach allen Richtungen hin durchsetzen, müssen also die Rolle eines die Zelle zusammenhaltenden Stoffes spielen.

Daß den Molekeln der lebendigen Substanz gerade diese Lagerung zukommt, wird dadurch bewiesen, daß in der Zelle Erscheinungen vor sich gehen, welche darauf hindeuten, daß der Spaltungsprozeß von einer lebendigen Molekel auf die anderen, benachbarten Molekel sich ausbreitet. In lehrreichster Form läßt sich der Prozeß an der Bildung der pulsierenden Vakuolen bei Infusorien verfolgen, wo die hydrolytische Spaltung, an einer Stelle entstanden, von der letzteren wie von einem Centrum nach allen Seiten hin sich ausbreitet.

Wodurch ist dieser Prozeß zu erklären? Wir hatten gesehen, daß die lebendige Substanz, entgegen der allgemein angenommenen Anschauung, nicht als labile Substanz aufgefaßt werden darf (s. Kap. I). Wodurch wäre also zu erklären, daß sie so leicht in Spaltung gerät bei der Spaltung von benachbarten Molekeln. Eine Erklärung dieses Faktums haben wir in erster Linie darin zu suchen, daß bei Spaltung der lebendigen Molekel ein Körper frei wird, welcher spaltend auf die benachbarten lebendigen Molekel einwirkt. Was wäre das nun für ein Körper?

Ein solcher Körper muß der Sauerstoff sein. Thatsächlich wissen wir in der Reihe der Spaltungsprodukte der lebendigen Substanz keinen einzigen Körper, welcher spaltend auf die lebendige Substanz einzuwirken vermochte, wenn wir nicht zugeben wollen, daß einen solchen Körper der Sauerstoff repräsentiert. Zu Gunsten dieser Hypothese spricht die Thatsache, daß entgegen der spaltenden Wirkung des Sauerstoffs die Zelle eine schützende Vorrichtung hat, welche die reduzierende Substanz ist.

Daß Sauerstoff, und selbst in großen Mengen, bei der Spaltung lebendiger Substanz frei werden kann, bezeugt sein Freiwerden in den Pflanzen bei der Stärkebildung, die, wie wir nachgewiesen haben, auf Spaltung zurückzuführen ist.

Also müssen wir, entgegen der Meinung SCHMIEDEBERG's, die Hypothese des aktiven Sauerstoffs annehmen. Dieser Sauerstoff muß sich aber nicht, wie HOPPE-SEYLER annahm, aus den Molekeln des gewöhnlichen Sauerstoffs befreien, sondern aus den spaltenden Molekeln

der lebendigen Substanz selbst. Da der freiwerdende Sauerstoff nur zwischen den Molekeln der lebendigen Substanz erscheint, welche von den übrigen Teilen der Zelle durch reduzierende Substanz getrennt sind, so übt der Sauerstoff unter einigen Bedingungen seine oxydierende Wirkung nicht aus. Darin müssen wir die Erklärung der Unoxydierbarkeit einiger Stoffe im Organismus (z. B. Phosphor CO, Oxalsäure) suchen.

Nach der von uns entwickelten Theorie *repräsentiert also die Zelle ein Aggregat gleichartiger Molekel lebendiger Substanz, die in Gestalt ununterbrochener Reihen nahe bei einander gelagert und von reduzierender Substanz umgeben sind.* Dank einer solchen Struktur bewahrt die Zelle ihre Integrität und dank der Fähigkeit lebendiger Molekel bei der Spaltung Sauerstoff in Freiheit zu setzen, kommt ihr die Fähigkeit zu, den an der Peripherie angefachten Spaltunsprozeß in das Innere der Zelle fortzusetzen. Diese Einrichtung und die chemischen Eigenschaften der lebendigen Substanz bedingen zwei wichtige Fähigkeiten: eine ungewöhnliche Sensibilität der Zelle gegen Reize und die Fähigkeit, den in ihr sich abspielenden vitalen Prozeß zu regulieren. In der That genügt ja bei der angenommenen Struktur eine unbedeutende Menge von freiem Sauerstoff, um die ganze Zelle in aktiven Zustand zu versetzen, indem die durch diese Sauerstoffmenge an der Peripherie hervorgerufene Spaltung eine successive Spaltung aller lebendigen Molekeln der Zelle zu bedingen vermag. Dabei aber kann die Ausbreitung des Spaltungsprozesses in einer Molekelreihe an irgend einer Stelle stehen bleiben, falls die Anzahl lebendiger Molekel an dieser Stelle eine geringe ist im Vergleich zur Menge der die Reihe umgebenden reduzierenden Substanzen, welche eben den Sauerstoff absorbieren.

Das wäre das physikalisch-chemische Schema der Zelle nach unserer Theorie. Man könnte uns entgegnen, daß, nimmt man dieses Schema an, man nicht in der Lage sein wird, die Bewegung des Protoplasmas zu erklären, der ja die Reihen lebendiger Molekel, welche die Zelle nach allen Richtungen hin durchsetzen, ein Hindernis bieten müssen. Wir dürfen aber diesen Reihenkomplex nicht als stabile Einrichtung auffassen. Die aus lebendiger Substanz bestehenden Reihen müssen in einem Zustande fortwährender Zerstörung und Organisation sich befinden, indem die sie zusammengesetzten Molekeln fortwährend gespaltet und von neuem auf

Kosten der im Protoplasma enthaltenen Ingredientien lebendiger Substanz restituiert werden. Solcher Umbau muß z. B. bei der amöboiden Bewegung beständig vorkommen.

Die von uns berührte Frage über das Verhältnis der Menge lebendiger Substanz in der Zelle zu der Menge reduzierender Stoffe erscheint uns auch in anderer Beziehung von Wichtigkeit.

Wir hatten oben auseinandergesetzt, daß freier Sauerstoff in geringster Menge von allen Organismen benötigt wird, ließen aber die Frage unerörtert, weshalb er für die Mehrzahl der Organismen in großen Quantitäten notwendig ist. Wir haben gesehen, daß die Physiologen (Kühne, Pflüger, Verworn) annehmen, daß dieser Sauerstoff zum Aufbau der lebendigen Substanz verbraucht wird, indem er die Spaltungsfähigkeit der letzteren steigert.

Diese Theorie dünkt uns wenig wahrscheinlich, einerseits deshalb, weil in der Reihe der Ingredientien der lebendigen Substanz solche sauerstoffreiche Verbindungen vorhanden sind, wie z. B. der Zucker, daß es unerfindlich ist, wozu die lebendige Substanz noch freien Sauerstoffs bedürfte; andererseits hatten wir darauf hingewiesen, daß die Spaltungsfähigkeit der lebendigen Substanz nicht auf einer Labilität des letzteren beruht, sondern auf der Einwirkung von Sauerstoff auf Bionuklein. Es wäre also zu denken, daß das Bedürfnis für große Sauerstoffmengen bei der Mehrzahl der Organismen eine andere Erklärung erheischt, die, wie uns scheint, in dem Verhältnis der lebendigen Substanz zu den reduzierenden Stoffen der Zelle zu suchen ist. Indem eine Mengenzunahme der letzteren, wie wir oben erwähnt hatten, dem Uebergang des freiwerdenden Sauerstoffes von einer Molekel lebendiger Substanz zur anderen hinderlich sein muß, erscheint es behufs ungehinderter Funktionierung der Zelle notwendig, daß die Menge der reduzierenden Stoffe abnehme, wozu eben freier Sauerstoff nötig ist.

Die Oxydation der reduzierenden Stoffe in der Zelle repräsentiert nun auch das Beispiel einer wahren Oxydation, die auf Kosten von freiem Sauerstoff vor sich geht. Diesen Prozeß hätten wir also als Atmung der Organismen aufzufassen. Das ist eine Anschauung, die uns den Grund aufdeckt, warum die Ausschaltung des Sauerstoffzutrittes so schnell den Tod der meisten Tiere herbeiführt — eine Thatsache, die vom Standpunkte der allgemein angenommenen Theorie, welcher den Sauerstoff als eine Art Nahrungsstoff giebt, sich schwerlich erklären ließe.

Nachdem wir die Eigenschaften der lebendigen Substanz und der Zelle festgestellt haben, wollen wir uns jetzt der Erklärung vom Standpunkte unserer Theorie der wichtigsten Episode aus dem Leben der Zelle zuwenden — der Erklärung ihrer Teilung, dieses rätselhaften Prozesses, welcher allen Deutungen unzugänglich sich erweist. Wird die Integrität der Zelle, wie wir oben angenommen haben, durch die Kohäsion ihrer Teilchen bedingt, so muß ihre Spaltung in zwei Hälften die Folge sein, einerseits eines Nachlassens dieser Kohäsion und andererseits einer Tendenz der lebendigen Teilchen sich in zwei neue Aggregate aufzulösen. Weshalb tritt solche Aenderung ein? Die plausibelste Erklärung hätte in folgendem zu bestehen. Weil die Kohäsionskraft nur zwischen gleichartigen Teilchen wirksam ist, so hat man ein Nachlassen derselben durch Aenderung der Gleichartigkeit, die an den Teilchen der lebendigen Substanz der Zelle eintritt, zu erklären und die Tendenz dieser Teilchen, in zwei Aggregate sich aufzulösen, dadurch, daß in der Zelle zwei lebendige Substanzen, die ihrer Zusammensetzung nach sich nahestehend dennoch nicht identisch sind, gebildet werden.

Daß diese Erklärung bloß keine theoretische Vorstellung ist, erhellt aus folgendem Beispiel. Nehmen wir die Lösung von zwei Salzen (z. B. Cuprum sulphuricum und Natrum sulphuricum) und lassen dieselbe zur Krystallisation stehen, so scheiden sich die beiden Salze, dank Attraktion, zwischen gleichartigen Teilchen in zwei Krystallformen ab, die nun voneinander getrennt werden können. Auf diese Weise kann man zwei sehr verwandte chemische Stoffe, z. B. rechte und linke Weinsäure voneinander trennen. Die Beispiele erscheinen um so mehr am Platze, als die Kraft, welche die Krystallmolekel bindet, dieselbe ist, welche die lebendigen Molekel in der Zelle zusammenhält — die Kohäsionskraft.

Von diesen Betrachtungen ausgehend, können wir die Zellteilung, wie folgt, auslegen. Wir haben gesehen, daß das Zellenwachstum das Resultat ist einer Vergrößerung der Anzahl von Molekeln lebendiger Substanz dadurch, daß neue Molekel unter Mithilfe von Resten alter Molekel, die als Keime fungieren, gebildet werden und haben angenommen, daß aus jeder Molekel zwei Keime entstehen — eine bionukleinfreie und eine bionukleinhaltige. Ein jeder dieser Keime absorbiert aus der Nahrung die ihm fehlenden Ingredientien und wandelt sich in lebendige Substanz um.

Der zuerst genannte Keim muß also neues Bionuklein bilden. Weil dieser Körper sehr kompliziert ist, so dürfte es sehr wahrscheinlich sein, daß das neue Bionuklein nicht ganz identisch mit dem alten wird, daß folglich in der Zelle zwei nicht identische Bionukleine und demnach zwei nicht identische lebendige Substanzen entstehen.

Solange die Menge der alten lebendigen Substanz in der Zelle die Menge der neuen nicht übersteigt, bleibt die neue lebendige Substanz in der alten eingeschlossen und wird, dank dem quantitativen Uebergewicht der letzteren, der Zusammenhang der Zellteilchen bewahrt. Allein, sobald die Menge der neugebildetes Bionuklein enthaltenden lebendigen Substanz gleich wird mit der Menge der alten lebendigen Substanz, muß eine Lockerung im Zusammenhange der Zellteilchen sich einstellen und eine Tendenz der letzteren, in zwei Aggregate sich aufzulösen.

Infolge der Beweglichkeit der lebendigen Molekel muß die Trennung in derselben Weise stattfinden, wie die Abscheidung in einem Gemisch von zwei Salzen bei der Krystallisation. Der Prozeß der Zellteilung spielt sich jedoch nicht in so einfacher Form ab. Es wird dadurch komplizierter, daß im Protoplasma bionukleinfreic Spaltungsprodukte enthalten sind, welche, indem sie Körper von verschiedenartigen chemischen Zusammensetzungen repräsentieren, sich den oben erwähnten Aggregaten nicht anzugliedern vermögen, durch ihre Gegenwart also den Teilungsprozeß stören müssen.

Das Studium des Teilungsprozesses lehrt, wie die Natur diese Schwierigkeit umgeht. Das Mittel besteht darin, daß die betreffenden Produkte in lebendige Substanz umgewandelt werden, was dadurch zustande kommt, daß das zur Umwandlung notwendige Bionuklein dem Protoplasma in Gestalt des sogenannten Centrosoma geliefert wird.

Das Centrosoma tritt aus dem Kerne aus und teilt sich, da es zwei nicht identische Bionukleine enthält, in zwei Teile, deren jeder mit den im Protoplasma befindlichen Spaltungsprodukten sich verbindet und eine gesonderte lebendige Substanz entstehen läßt. Infolge der Kohäsion müssen darauf die Molekel der beiden lebendigen Substanzen miteinander sich verbinden und Reihen bilden, die strahlenförmig von zwei Centrosomen ausgehen, als Bildungsstätten von zwei nicht identischen lebendigen Substanzen. Die Centrosomen werden also zu Gruppierungscentren der zwei Aggregate, in welche die sich teilende Zelle zerfällt.

Die Teilung des Zellkernes geschieht nach demselben Prinzip. Weil das Bionuklein, aus welchem der Kern zusammengesetzt ist, als nicht lebendige Substanz der zur Teilung notwendigen Beweglichkeit entbehrt, muß dasselbe, um sich zu teilen, zunächt in lebendige Substanz übergehen, indem es mit den Ingredientien lebendiger Substanz, die im Protoplasma enthalten sind, sich vereinigen. Nachdem nun der Uebergang in lebende Substanz vollzogen ist, beginnt das Bionuklein in Gestalt von Molekelreihen sich anzuordnen und bildet einen knäuelförmig zusammengerollten Faden. Da aber im Kerne zwei Bionukleine enthalten sind, so muß dieser Faden sich der Länge nach in zwei Fäden spalten.

Der weitere Gang des Teilungsprozesses besteht darin, daß jedes von diesen beiden Bionukleinen des Kernes nach seinem Uebergang in lebendige Substanz sich dem in dem Protoplasma bildenden Aggregate angliedert, welcher identische lebendige Substanz enthält.

Indem wir die Erörterung der Karyokinese in allen ihren Detailen einer besonderen Arbeit vorbehalten, wollen wir hier nur die annähernde Idee über diesen Prozeß geben. *Das Wesen der Karyokinese besteht also, vom Standpunkte unserer Theorie betrachtet, darin, daß die nicht lebendigen Elemente der Zelle, der Kern und die größere Masse des Protoplasmas, indem sie vermöge ihrer Trägheit in Teilung nicht übergehen können, miteinander sich vereinigen und lebendige, also bewegliche Substanz bilden, worauf, weil in der letzteren zwei lebendige Substanzen in gleicher Menge vertreten sind, sie sich in zwei Aggregate auflösen.* Die auf dem Wege der Teilung entstandenen zwei Zellen dürfen folglich nicht als identisch angesprochen werden, indem die eine Bionuklein der Mutterzelle und die andere neugebildetes Bionuklein enthält.

Ist die Theorie richtig, so muß sie uns die Erklärung liefern, auf welche Weise aus dem Teilungsprozeß der Prozeß der geschlechtlichen Fortpflanzung sich entwickelt hat. Diese Frage gehört zu den schwierigsten in der Biologie, und wir können hier lediglich einen Versuch ihrer Lösung vorbringen, indem wir unsere Theorie auf die Deutung des betreffenden Prozesses in seiner einfachsten Form anwenden. Als solche erscheint uns *die Kon-*

jugation, welche den Uebergang von der Teilung zur geschlechtlichen Fortpflanzung anbahnt.

Nehmen wir als Beispiel die Konjugation der Infusorien und legen uns die Frage vor, wodurch zu erklären wäre: 1) daß die Infusorien nach einer Reihe von Teilungen die Fähigkeit zu weiterer Teilung einbüßen, 2) daß die Infusorien, welche diese Fähigkeit eingebüßt haben, eine geschlechtliche Affinität zwischen den Individuen auftritt, 3) daß nach der Konjugation die Infusorien ihre Fähigkeit sich zu teilen, wiedergewinnen.

Auf alle aufgestellten Fragen geben uns die morphologischen Untersuchungen keine Antwort, auch die detailliertesten nicht, wie z. B. die von HERTWIG, MAUPAS, HOYER. Indessen, vom Standpunkte unserer Theorie aus, erscheint eine Lösung dieser Fragen möglich.

Wir haben gesehen, daß beim Teilungsprozeß in eine der Tochterzellen neugebildetes Bionuklein und in die andere mütterliches Bionuklein übergeht. Indem aber der Trennungsprozeß beider Bionukleine kein mathematisch genauer sein kann, muß in der zuerst genannten Zelle eine unbedeutende Menge von mütterlichem Bionuklein (resp. lebendiger Substanz) nachbleiben. Diese lebendige Substanz vermag bei ihrer unbedeutenden Menge keinen Einfluß auf die Teilung der Tochterzellen auszuüben. Da aber bei den weiteren Teilungen in jeder neugebildetes Bionuklein enthaltenden Zelle ein Partikelchen von mütterlichem Bionuklein nachbleiben wird, so muß die Summe solcher Partikelchen (wir wollen sie Vorfahrenbionuklein nennen) schließlich eine Qualität Bionuklein resp. lebendige Substanz ausmachen, die nicht indifferent für die Zelle ist und ein Hindernis für die Zellteilung abgiebt, indem in der Zelle neben den zwei eigenen lebendigen Substanzen eine dritte sich einfindet. Das wäre nach unserer Theorie die Ursache der sogen. „senilen Degeneration“, welche von MAUPAS beschrieben war.

Die Frage, warum bei den Infusorien geschlechtliche Affinität auftritt, wird von unserer Theorie in folgender Weise gelöst:

Da der Prozeß der Zellteilung sich vollzieht, indem Bionuklein und nichtlebendige Protoplasmamasse in lebendige Substanz übergehen, so muß in den auf dem Wege der Teilung entstandenen Zellen eine strenge Proportionalität zwischen Menge von Bionuklein und Menge von bionukleinfreien Resten lebendiger Substanz eingehalten bleiben. Solche Zellen besitzen keine chemische (oder

geschlechtliche) Affinität zu einander, weil dieselbe völlig innerhalb der Zelle durch die vorhandenen Bestandteile gesättigt ist. Wird aber in den sich teilenden Zellen neben der eigenen lebendigen Substanz noch lebendige Vorfahrensubstanz enthalten sein, so muß die chemische Gleichgiltigkeit der Zellen, die sich durch wiederholte Teilung gebildet haben, Einbuße erleiden. In der That, da die lebendige Vorfahrensubstanz an der Teilung nicht zu participieren vermag, so hat dies zur Folge, daß bei der Zellteilung bionukleinhaltige und bionukleinfreie Abschnitte jener Substanz nicht einander korrespondierend untergebracht werden und daher in die sich teilende Zelle in unbestimmten zufälligen Mengen übergehen.

Es müssen also Zellen entstehen, in welchen ein Ueberschuß an Vorfahrenbionuklein eingeschlossen, und Zellen, in welchen umgekehrt ein Ueberschuß des bionukleinfreien Anteiles der lebendigen Vorfahrensubstanz enthalten ist. Die beiden Arten von Zellen werden chemische oder geschlechtliche Affinität dokumentieren, weil die in ihnen vorhandenen Teile der lebendigen Vorfahrensubstanz einander ergänzen und vereint lebendige Substanz bilden. Diese Subtsanz dürfte nun während der Konjugation sich bilden und gewinnt, da sie mit einem Male sich reichlich bildet, eine dominierende Rolle gegenüber der lebendigen Substanz, die der Zelle selbst angehört.

Wenn aber die Zelle drei lebendige Substanzen in bedeutenden Mengen enthält, vermag sie sich in gewöhnlicher Weise nicht zu teilen und das Infusorium entledigt sich der ihm angehörenden Substanzen: die Kerne zerfallen in Stücke und werden ausgestoßen. In den Infusorien verbleibt also nach der Konjugation lediglich die lebendige Vorfahrensubstanz. Das Hindernis für die Teilung, bedingt durch die Gegenwart von drei Substanzen, ist entfernt und die Teilung beginnt mit erneuter Energie. Dabei ist aber auch die frühere chemische Zusammensetzung der Infusorien wieder hergestellt. Der Konjugationsprozeß führt also zur Erhaltung der Artenkonstanz. Ist die Grundlage der Konjugation und die geschlechtliche Fortpflanzung dieselbe, so haben wir den Befruchtungsprozeß folgenderweise zu deuten.

Die Eizelle muß neben ihrer eigenen lebendigen Substanz auch lebendige Vorfahrensubstanz und einen Ueberschuß an bionukleinfreien Resten derselben enthalten. Sie vermag daher auf gewöhnlichem Wege sich nicht zu teilen und teilt sich in zwei Absätzen.

Zuerst verfällt der Teilung nur die dem Ei angehörende lebendige Substanz. Diese Teilung ist aus dem Grunde eine partielle und vollzieht sich an der Peripherie der Zelle. Als Folge tritt die Bildung der Polzellen auf. Dann beginnt die Teilung der lebendigen Vorfahrensubstanz. Da letztere einen Ueberschuß an bionukleinfreien Resten enthält, so bedarf sie, um sich teilen zu können, der Mithilfe des Vorfahrenbionukleins. Dieses wird durch Spermatozoon geliefert, ein Element, welches reich an Bionuklein ist.

Nach unserer Theorie repräsentiert also die Bildung der Polzellen einen Prozeß, welcher dem Eliminationsprozeß der Kerne bei den Infusorien analog ist. Der Zweck beider Prozesse liegt in der Entfernung des der Zelle angehörenden Bionukleins, um dadurch für das Vorfahrenbionuklein eine dominierende Rolle zu schaffen.

Zu Gunsten der entwickelten Befruchtungstheorie sprechen morphologische und physiologische Thatsachen. So zeichnet sich die Eizelle durch ihren Reichtum an Protoplasma und relativen Mangel an Nuklein aus, während das Spermatozoon die entgegengesetzten Eigenschaften aufweist. Des weiteren ist die merkwürdige Fähigkeit des Spermatozoon bekannt, daß es durch das Ei derselben Tierart angezogen wird, was darauf hindeutet, daß in beiden Substanzen eingeschlossen sind, die eine chemische Affinität für einander besitzen.

Unsere Theorie erklärt endlich, warum die Arteigentümlichkeiten des Organismus beharrlich erhalten bleiben, obgleich die chemische Zusammensetzung der lebendigen Substanz bei der Reihe konsekutiver Zellteilungen immer mehr von ihrem Ausgangspunkte sich entfernen muß. Das läßt sich aber dadurch erklären, daß die lebendige Substanz, welche das Ununterbrochene der Existenz vermittelt, die lebendige Vorfahrensubstauz ist.

Schwieriger erscheint einer Erklärung zugänglich, warum der Entfernung der Polzellen nicht eine Teilung der Eizelle folgt. sondern eine ganze Reihe von konsekutiven Teilungen. Da, wie wir gezeigt haben, der Teilungsprozeß sich vollzieht, weil in der Zelle zwei verschiedenartige Substanzen zugegen sind, so weist der Segmentierungsprozeß im Ei darauf hin, daß nach jeder Teilung latent gewesenes Bionuklein auftritt, welches einer der vorangehenden Generationen angehört. Dieses Bionuklein verwandelt

sich in lebendige Substanz, die mit der lebendigen Substanz des betreffenden Segmentes nicht identisch ist, und veranlaßt dadurch das letztere, sich zu teilen.

Der Segmentierungsprozeß im Ei unterscheidet sich also in dem Punkte vom Prozeß der gewöhnlichen Zellteilung, daß bei dieser das mit dem Bionuklein der Zelle nicht identische Bionuklein durch den Prozeß der Zellenernährung gebildet wird, während bei der Segmentierung das nichtidentische Bionuklein bereits fertig im Kerne des sich teilenden Eies vorhanden ist. Dieses Bionuklein scheint im Ei aus dem Grunde latent gewesen zu sein, weil seine Menge gering und also kein wesentlicher Einfluß auf die Teilung der großen Protoplasmamasse ausgeübt werden konnte. Nur mit der Verkleinerung der Protoplasmamenge vermag es in Aktion zu treten. Da die Protoplasmamengen in den Segmenten, in dem Maße als das Ei sich segmentiert, stets abnehmen, so werden auch stets immer geringere Bionukleinmengen vorangehender Generationen als Ursache, welche die Teilung bewirkt, in Scene treten.

Nach dieser Hypothese können also die Blastomeren des Eies nicht identisch sein, denn die Nichtidentität der in ihnen enthaltenen Bionukleine ist eben die Ursache ihrer Abgrenzung gewesen. Dieser Schluß deckt sich mit der von Roux auf den Segmentationsprozeß im Ei entwickelten Anschauung.

Es erübrigt uns, die Ursache für die Entstehung der Geschlechter zu erörtern. Wir können jedoch die Frage nur kurz berühren. Die Lösung derselben muß gelegen sein: erstens in der oben angeführten Schlußfolgerung, daß die Eizelle und das Spermatozoon sich voneinander durch die relativen Mengen der in ihnen eingeschlossenen bionukleinhaltigen und bionukleinfreien Anteile der lebendigen Substanz unterscheiden; zweitens darin, daß auf dem Wege der Polzellenbildung die der Eizelle selbst angehörende lebendige Substanz entfernt wird. Diesen zwei Thesen ist eine dritte hinzuzufügen: das Wesen der Reduktionsteilung, die bei der Entwickelung der Samenzellen sich vollzieht, besteht wahrscheinlich ebenfalls, gleich der Polzellenbildung, darin, daß die Zelle von ihrem eigenen Bionuklein freigemacht wird.

Das Spermatozoon und die Eizelle werden also bei ihrer Vereinigung fast nur lebendige Vorfahrensubstanz enthalten mit einem Ueberschuß an Bionuklein in dem Spermatozoon und an bionukleinfreiem Teil dieser Substanz in der Eizelle. Wir sagen

fast, indem eine vollständige Scheidung der lebendigen Substanzen bei der Teilung nicht vorkommt.

Was kann nun das Resultat der Vereinigung solcher Zellen sein? Offenbar folgendes: Wenn die Bionukleinmenge im Spermatozoon größer ist als notwendig, um lebendige Substanz aus dem bionukleinfreien Anteile der in der Eizelle eingeschlossenen lebendigen Substanz zu bilden, so wird in der neuen Zelle ein Ueberschuß an Bionuklein sich ergeben, im entgegengesetzten Falle aber wird ein Ueberschuß bionukleinfreier Anteile lebendiger Substanz auftreten. Im ersten Falle muß ein Individuum männlichen, im zweiten weiblichen Geschlechts entstehen.

Gehen wir jetzt zur Frage von der Bewegung über, die eine der wichtigsten Eigenschaften der lebendigen Substanz ausmacht. Es existieren zahlreiche Bewegungsarten, zu deren Erklärung verschiedene Theorien in Vorschlag gebracht worden sind. Von diesen Theorien wären die bekanntesten: die Theorie der amöboiden Bewegung von QUINCKE und von BÜTSCHLI, die Theorie der Muskelkontraktion von ENGELMANN, die Bewegungstheorie von VERWORN u. a. Die angeführten Theorien haben alle den Mangel, daß sie die Bewegung nicht mit dem vitalen Prozeß verknüpfen, sondern die Frage von der Bewegung zu lösen suchen, ohne die Frage vom Wesen des vitalen Prozesses gelöst zu haben. Es ist indessen zweifellos, daß die Bewegung den morphologischen resp. physikalischen Ausdruck des chemischen Prozesses, der den vitalen Erscheinungen zu Grunde liegt, repräsentieren muß. Nur vom Chemismus dieser Erscheinungen ausgehend, dürfen wir hoffen, eine Erklärung für die mannigfaltigen Bewegungsäußerungen zu liefern, die wir in den Organismen beobachten. Wenn wir, von unserer Theorie ausgehend, dieser Aufgabe gerecht zu werden vermögen, so gelangen wir gerade zu der Lösung, die im gegebenen Falle gesucht wird, indem wir ja die Bewegung mit allen übrigen vitalen Prozessen in Zusammenhang bringen.

Ausgehend von unserer Theorie, müssen wir als Bewegungsursache denselben Faktor ansprechen, der auch den vitalen Prozeß bedingt, also den Sauerstoff. Das nehmen schon viele Physiologen an, und KÜHNE erhob diese Annahme, wie wir gesehen haben, über allen Zweifel. Allein, auf welche Weise der Sauerstoff Bewegung hervorruft, darüber finden wir keine Angaben in der physiologischen Litteratur. Die Vorstellung von der Bewegung als einer Attraktion

der lebendigen Substanz gegen den Sauerstoff vermöge der chemischen Affinität, eine Vorstellung, welcher wir selbst früher huldigten, ist nicht richtig und kann viele Bewegungsarten nicht erklären. Der Sauerstoff ruft nicht dadurch Bewegung hervor, daß er die lebendige Substanz anzieht, sondern dadurch, daß er in der lebendigen Substanz Spaltung bewirkt, so daß in derselben Veränderungen eintreten, deren Folge Bewegung sein muß.

Die Differenz zwischen beiden Vorstellungen ist eine beträchtliche, indem nach der zuerst angeführten die Attraktion von seiten des Sauerstoffes die bewegende Kraft bildet, während nach der zweiten der Sauerstoff bloß den Impuls zur Bewegung abgiebt, die nun das Resultat einer Kraft repräsentiert, welche bei der Spaltung lebendiger Substanz frei wird.

Von solchen Erwägungen ausgehend, wollen wir nun die verschiedenen Bewegungsarten betrachten und mit derjenigen beginnen, welche als die einfachste gilt, die amöboide Bewegung. Nach der Meinung von QUINCKE, die von vielen Physiologen geteilt wird, ist die amöboide Bewegung folgenderweise zu erklären: In der Zelle muß vermöge der Kohäsion ihrer Teilchen eine Oberflächenspannung, welche die Zelle zusammendrückt, vorhanden sein. Wenn die Spannung aus einem beliebigen Grunde an einem Punkte nachläßt, so kann sie den Druck von innen her nicht bewältigen und muß sich an diesem Punkte ein Psodopodium bilden. QUINCKE hat die Erscheinung an Oeltropfen, die Chloroform enthielten und an beliebiger Stelle mit Sodalösung benetzt wurden, künstlich hervorgebracht. Er ist der Meinung, daß die Oberflächenspannung an der betreffenden Stelle abnehmen müsse durch Umwandlung des Oels in Seifenlösung. Das ist aber auf die Zelle nicht anwendbar, die nicht aus Oel besteht. Daher glaubt VERWORN, daß die Oberflächenspannung der Zelle vermöge der Attraktion gegen Sauerstoff abnehme.

Indessen haben wir oben darauf hingewiesen, daß die Bewegung nicht das Resultat einer einfacheren Attraktion gegen Sauerstoff sein kann, sondern das Resultat eines viel feineren Prozesses ist, welcher in einer Spaltung lebendiger Substanz besteht, die von den soeben genannten Forschern nicht beachtet wird. Vom Standpunkte unserer Theorie muß die Ursache der amöboiden Bewegung in der Hydrolyse liegen, welche die durch Sauerstoff hervorgerufene Spaltung der lebendigen Substanz begleitet. Die Hydrolyse erscheint

als bewegende Kraft, weil das für dieselbe benötigte Wasser außerhalb des Organismus sich befindet. Zwischen diesem Wasser und der sich spaltenden Partie der Zelle muß chemische Anziehung auftreten. Die Anziehung wirkt um so stärker, daß die angezogene lebendige Substsnz bei der Spaltung dünnflüssig wird und an Umfang zunimmt. In der Aktion dieser drei Kräfte — Anziehuug gegen Wasser, Verflüssigung und Umfangzunahme — haben wir nun die Erklärung der viel verschiedenen Formen, in welchen die amöboide Bewegung bei niederen Tieren sich äußert, zu suchen. Alle die drei Kräfte werden jedoch frei und zu ihrer Thätigkeit durch unbedeutende Sauerstoffmengen, welche das Bionuklein oxydieren, angeregt.

Eine sehr interessante Bewegungsform repräsentiert die Bewegung der pulsierenden Vakuolen bei den Infusorien und den anderen Protozoen. Die Erscheinung besteht darin, daß im Protoplasma, nahe der Zellenoberfläche, kleine Tropfen auftreten, die miteinander konfluieren und das, was man eine Vakuole nennt, bilden. Die Vakuole wächst schnell an bis zu einer gewissen Grenze, um dann plötzlich zu verschwinden, da, wie fast alle Zoologen annehmen, ihr Inhalt durch einen Riß in der Zellwand nach außen entleert wird.

Bisher ist die genannte Erscheinung unaufgeklärt geblieben. Manche Zoologen, wie z. B. O. Hertwig, nehmen an, daß die pulsierenden Vakuolen mechanisch thätig sind, indem sie, gleich Saugpumpen, Wasser ansaugen, also durch negativen Druck. Es ist jedoch schwer, die Existenz eines so komplizierten Mechanismus in der Zelle vorauszusetzen, und sind wir auch nicht in der Lage, das Vorhandensein eines derartigen Mechanismus durch mikroskopische Beobachtung nachzuweisen. Die Theorie wäre noch aus dem Grunde unhaltbar, weil sie uns den Ursprung des Risses, der ja auf vermehrten, nicht aber auf verminderten Druck innerhalb der Zelle hindeutet, nicht zu erklären vermag.

Andere Zoologen, wie z. B. Delage, lassen die Erscheinung überhaupt ohne alle Deutung.

Vom Standpunkte unserer Theorie läßt sich das Entstehen von pulsierenden Vakuolen recht einfach erklären. Die Ursache der Erscheinung ist eine chemische und liegt in einer Spaltung der lebendigen Substanz, bewirkt durch die Thätigkeit von Sauerstoff. Wir haben vorauszusetzen, daß in der Zellenpartie, wo sich die pulsierende Vakuole bildet, eine Anhäufung von Molekeln

lebendiger Substanz vorhanden ist. Nehmen wir nun an, daß Sauerstoff von außen her an manche von diesen Molekeln herankommt und deren Spaltung bewirkt. Da hierbei, wie wir oben deduzierten, Sauerstoff frei wird, so muß jede von den sich spaltenden Molekeln eine hydrolytische Spaltung der benachbarten lebendigen Molekeln hervorrufen, und der Ausdruck dieses Prozesses ist die Bildung von kleinen Tröpfchen, deren Reihen von manchen für zuführende Kanäle gehalten werden. Des weiteren müssen die Tröpfchen konfluieren und der Prozeß nach allen Seiten hin sich ausbreiten.

Indem das zur Hydrolyse nötige Wasser von allen Seiten her gegen die Vakuole angesogen wird, muß auch Wasser von außen in die Zelle eintreten. Als Folge davon hat eine Druckvermehrung innerhalb der Zelle und der Einriß der letzteren zu erscheinen. Falls wir diese Deutung zugeben, bleibt uns indes zu erklären, warum der begonnene Prozeß der hydrolytischen Spaltung nicht weiter geht und sich nicht auf die ganze Zelle ausbreitet. Den Grund für das Stillstehen des Prozesses haben wir in der Gegenwart der reduzierenden Zellsubstanzen zu suchen, die, wie wir oben auseinandergesetzt hatten, den Sauerstoff aufbrauchen. Wir müssen annehmen, daß an der Bildungsstätte der pulsierenden Vakuole diese Substanzen spärlich vertreten sind, daß sie also hier den Spaltungsprozeß nicht aufzuhalten vermochten. Sie sind aber wohl reichlich an anderen Stellen vorhanden, und die nach allen Seiten hin sich ausbreitende Sauerstoffwelle wird von ihnen aufgehalten, wobei natürlich Oxydationsprodukte sich bilden. Unsere Deutung klärt also nicht bloß die in Rede stehende Erscheinung auf, sondern sie zeigt uns auch die Beziehung der letzteren zur Zellatmung.

Die Wimperbewegung ist ebenfalls sehr einfach durch unsere Theorie zu deuten. Nehmen wir an, daß jede Wimper aus einer biegsamen Substanz besteht und daß eine Schicht lebendiger Substanz einer ihrer Flächen anliegt. Infolge von Spaltung wird die lebendige Substanz verflüssigt, indem sie von außen Wasser, gegen welches eine Anziehung bestehen muß, sich aneignet. Als Resultat dieses Prozesses hat eine Biegung der Wimper nach der Seite der lebendigen Substanz zu erfolgen. Nach Regeneration der lebendigen Substanz muß die Wimper in ihre anfängliche Lage zurückkehren.

Eine sehr rätselhafte Erscheinung bei der Wimperbewegung ist die Synchronicität dieser Bewegung. Was veranlaßt die Wimpern, sich gleichzeitig oder fast gleichzeitig zu biegen? Ver-

WORN, der sich viel mit dem Studium der Bewegung bei den Protozoen abgegeben hat, erklärt diese Thatsache aus der Kontinuität des Protoplasmas, ohne jedoch zu bestimmen, was er darunter verstehe. Daher bleibt es unbekannt, wie der Autor das Wesen des Prozesses sich vorstellt.

Vom Standpunkte unserer Theorie läßt sich die Synchronicität der Wimperbewegung einfach erklären. Wir dürfen voraussetzen, daß bei den Infusorien resp. geißeltragenden Protozoen die lebendige Substanz der Wimpern durch Reihen einander genäherter Molekel lebendiger Substanz zu einem gemeinsamen Ganzen verbunden ist. Denken wir uns weiter, daß der äußere Sauerstoff an irgend einer Stelle Zutritt zu diesem Komplexe erhält, so wird die Spaltung lebendiger Molekel, vermöge der successiven Befreiung des Sauerstoffs von jener Stelle aus, sich auf alle Reihen der lebendigen Molekel ausbreiten, und wird als Folge des Prozesses eine fast gleichzeitige Biegung der Wimpern auftreten. Jede sich spaltende lebendige Molekel wird zur Ursache einer Spaltung der benachbarten lebendigen Molekel. Und dies bestätigt die Beobachtung, denn wir sehen, daß thatsächlich sich die Wimpern nicht völlig gleichzeitig biegen, sondern successive, wie die Aehren eines Feldes beim Herübergleiten einer Windeswelle.

Unter dem Einfluß der gemeinsamen Bewegung der Wimpern wird das Infusorium mobil. Es genügt jetzt die geringste chemische Anziehung, die auf das eine Ende der Zelle stärker einwirkt, als auf das andere, damit die Zelle mit jenem Ende sich der Gegend der chemischen Anziehung zuwende und nach dorthin sich richte. Eine derartige chemische Anziehung übt auf die Infusorien z. B. Sauerstoff aus, und dessen Wirkung muß in dem Falle eine Kombination von zwei Thätigkeiten repräsentieren: eine Thätigkeit. welche Spaltung lebendiger Substanz hervorruft und hierdurch die Zelle in Bewegung setzt und eine noch feinere — die Richtung bestimmende.

Diese Richtungsthätigkeit können auch andere Stoffe entfalten, die eine chemische Affinität zu den in der Zelle eingeschlossenen Substanzen besitzen. Wir hatten oben gesehen, daß die Zellenernährung auf eine Restitution der lebendigen Substanz aus Resten zerfallener lebendiger Substanz und aus in der Nahrung enthaltenen Stoffen zurückzuführen ist. Diese Reste vermögen dadurch, daß sie an die Nährstoffe, welche die Zelle umgeben, an-

gezogen werden, gleichfalls eine richtende Wirkung auf die Zelle auszuüben.

Die Anziehung des Spermazoon durch die Eizelle ist in ähnlicher Weise zu erklären: die Bewegung des Spermatozoon wird durch die spaltende Sauerstoffwirkung bedingt und die Bewegungsrichtung durch die chemische Affinität zwischen den in beiden — Spermatozoon und Eizelle — enthaltenen Stoffen. Wir haben gesehen, daß in dem ersteren Bionuklein im Ueberschuß enthalten ist und in der letzteren bionukleinfreie Reste gespalteter lebendiger Molekel, die mit Bionuklein lebendige Substanz bilden.

Alle Arten von Attraktionen der Organismen und Zellen gegen verschiedene Stoffe tragen den Namen der Chemiotaxis, eines Prozesses, der durch seine ungewöhnliche Feinheit dem Untersuchenden auffällt. Vom Standpunkte unserer Theorie besteht die Erklärung dieser Feinheit darin, daß die chemiotaktisch wirksamen Stoffe nicht die Ursache der Bewegung sind, sondern bloß deren Richtung bestimmen, während die Bewegung selbst durch spaltende Einwirkung von Sauerstoff auf lebendige Substanz bedingt wird. Danach vollführt also ein einzelliger Organismus, z. B. ein wimpertragendes Infusorium, das sich chemiotaktisch fortbewegt, seine Bewegung unter dem Einfluß einer sehr komplizierten Kräftekombination. Als bewegende Kraft erscheint die lebendige Kraft, welche bei der Spaltung lebendiger Substanz, die in den Infusorienwimpern enthalten ist, frei wird. Den Impuls, der das Freiwerden dieser Kraft hervorruft, repräsentiert die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Bionuklein der lebendigen Substanz. Schließlich wird die Bewegungsrichtung durch die chemische Anziehung von Seiten des Stoffes, der das Infusorium chemiotaktisch beeinflußt, gegeben. Es ist nun verständlich, warum für die chemiotaktische Wirkung außerordentlich kleine Substanzmengen genügen.

Kapitel V.

Wenden wir uns nun der Erklärung der Muskelkontraktion zu. Dieser Prozeß ist bekanntlich bislang unaufgeklärt geblieben, obwohl eine Menge diesbezüglicher Theorien aufgestellt wurde, von welchen die bekanntesten sind: die von ENGELMANN, von BERN-

STEIN, von MERKEL, von VERWORN. ENGELMANN dachte sich, daß unter dem Einflusse eines chemischen Prozesses, dessen Wesen er nicht näher angiebt, Wärme auftritt, welche eine Quellung der anisotropen Elemente der Muskelsubstanz verursacht und als Folge der Quellung eine Verkürzung des Muskels veranlaßt. Nach BERNSTEIN liegt die Ursache der Kontraktion nicht in diesen Elementen, sondern in der Zwischensubstanz, die unter dem Einflusse eines chemischen Prozesses, an dem Sauerstoff teilnimmt, sich von den Polen des Muskelsegmentes gegen den Aequator sich fortbewegt. Den chemischen Prozeß vergleicht BERNSTEIN mit der Zersetzung eines explodierenden Stoffes. MERKEL sieht die Kontraktionsursache in einer Auflösung der anisotropen Substanz — einem Prozeß, dessen Existenz an dem Verschwinden der Querstreifung der Muskelfibrillen bei der Kontraktion sich erkennen läßt. Nach VERWORN findet die Muskelkontraktion statt, weil die isotrope Substanz, von dem Sauerstoff des Sarkoplasmas angezogen, gegen das letztere hin herüberfließt und eine Verbreitung der Muskelsegmente bedingt. Die Segmente werden hierdurch dünner und die ganze Muskelfaser kürzer.

Die Autoren all dieser Theorien sind sehr nahe daran gewesen, die Frage nach dem Wesen der Muskelkontraktion zu lösen, haben jedoch das Ziel nicht erreicht, da sie nicht zuvörderst das Wesen des vitalen Prozesses, der auch der Muskelkontraktion zu Grunde liegt, eruiert hatten. Eine Kenntnis davon besitzen wir nun und vermögen mithin die von den genannten Autoren versuchte Erklärung der Muskelkontraktion weiterzuführen.

Die Ursache der Muskelkontraktion muß dieselbe sein, wie die der anderen Bewegungsarten der lebendigen Substanz, also Anziehung der sich spaltenden lebendigen Substanz gegen Wasser. Wasser tritt jedoch offenbar nicht von außen her in die Mukelfaser ein, da, wenn dies der Fall, eine Umfangzunahme der Faser und also eine Verlängerung, nicht eine Verkürzung derselben die Folge wäre. Das zur Hydrolyse benötigte Wasser muß daher in der Muskelfaser selbst enthalten sein.

Da nach den histologischen Untersuchungen jedes Muskelsegment aus einer festeren (anisotropen) Substanz, in der Mitte des Segmentes gelegen, und aus einer mehrflüssigen (isotropen), der ersteren an beiden Seiten sich anschließend, zusammengesetzt ist, so muß in der isotropen Substanz das der Hydrolyse zu gute kommende Wasser enthalten sein und repräsentiert die anisotrope

Substanz lebendige Muskelsubstanz, deren Spaltung die Muskelkontraktion bedingt.

Der Kontraktionsprozeß selbst hat vom Standpunkte unserer Theorie darin zu bestehen, daß unter dem Einflusse von Sauerstoff, der von außen her eindringt, die lebendige Muskelsubstanz, also die anisotrope Substanz, der hydrolytischen Spaltung anheimfällt und das von der Hydrolyse benötigte Wasser der isotropen Substanz entnimmt. Daher muß auch die isotrope Substanz der anisotropen näher rücken und das Muskelsegment breiter und dünner werden, die Muskelfaser aber kürzer. Bei dem Spaltungsprozeß hat ein Bestandteil der lebendigen Muskelsubstanz völlige Spaltung zu erleiden. Für gewöhnlich ist dies der Kohlehydrat.

Dem Spaltungsprozeß folgt der Restitutionsprozeß lebendiger Substanz auf Kosten der Spaltungsprodukte, die in der Muskelsubstanz nachgeblieben sind, mit Ausnahme von Kohlehydrat, welcher der Nahrung entnommen wird. Oxydiertes Bionucleïn hat eine Reduktion zu erleiden. Sind nun alle Bestandteile der lebendigen Substanz zugegen, so muß auch eine Restitution der letzteren sich vollziehen. Indem dies einen der Spaltung entgegengesetzten Prozeß darbietet, hat hierbei eine Abscheidung von Wasser und Rückkehr desselben an die frühere Stelle, also zur isotropen Substanz stattzufinden. Das Ergebnis muß eine Restitution des Muskelsegmentes in seiner anfänglichen Gestalt sein und folglich eine Verlängerung der Muskelfaser.

Zu Gunsten unserer Theorie spricht nicht bloß die Möglichkeit, nun die Muskelkontraktion mit den anderen Bewegungsarten und mit überhaupt allen vitalen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen, sondern sprechen auch die folgenden Betrachtungen. Unsere Theorie erklärt die Thatsache, daß bei der Kontraktion des Muskels dessen Ausdehnungsfähigkeit durch Elastizitätsabnahme vergrößert wird. Die Vergrößerung der Ausdehnungsfähigkeit ist nämlich durch den Uebergang halbflüssiger lebendiger Substanz in einen flüssigen Zustand dank hydrolytischer Spaltung leicht zu erklären. Unsere Theorie läßt auch den Grund aufdecken, warum der Sauerstoff, der als Erreger der Muskelkontraktion auftritt, hierbei in so unbedeutender Menge nötig ist, daß die Ueberzeugung auftauchen konnte, es wäre der Sauerstoff für die Muskelkontraktion gar nicht unentbehrlich (HERMANN). In dieser unbedeutenden Menge des für die Kontraktion benötigten Sauerstoffs liegt nun die Erklärung der

allerrätselhaftesten vitalen Erscheinung — der Fähigkeit der Nerven, die Muskelkontraktionen auszulösen. Zum Studium der soeben genannten Fähigkeit wollen wir gleich übergehen.

Des Weiteren erklärt unsere Theorie auch die Fähigkeit des Muskels, die Kontraktion ähnlich einer Welle längs der gesamten Muskelfaser fortzuleiten. Die ist nämlich dadurch zu erklären, daß, wie wir oben vorausgesetzt hatten, bei der Spaltung lebendiger Molekeln des Muskels ein Freiwerden von Sauerstoff, der die Spaltung benachbarter Molekeln bewirkt, stattfindet, Der Spaltungsprozeß verläuft also auch hier in Form einer Welle, wie wir es bei der Deutung der Wimperbewegung gesehen haben. Vom Standpunkte unserer Theorie wird auch die Fähigkeit der Muskelsubstanz sich unter dem Einflusse der verschiedensten Reize zu kontrahieren begreiflich. Alle Reize müssen den Zutritt von Sauerstoff zur Muskelsubstanz erleichtern. Dies werden wir bei der Erklärung der Nervenerregung, der große Aehnlichkeit mit der Muskelerregung besitzt, des Genaueren erörtern.

Wollen wir nun zur Erklärung der nervösen Erscheinungen vom Standpunkte unserer Theorie aus übergehen, und wollen wir mit der Erläuterung der Natur der Nervenerregung beginnen. Dieser Prozeß läßt sich bekanntlich sonst nicht ergründen und besitzen wir in betreff desselben nur Hypothesen. Von solchen Hypothesen wäre die bekannteste elektrodynamische Theorie von DUBOIS-REYMOND, welche die elektrischen Erscheinungen in den Nerven erklärt, nicht aber, was die Nervenerregung ist. Ebensowenig deckt die Natur der Nervenerregung die PFLÜGER'sche Molekulartheorie auf, obwohl ihr der richtige Gedanke zu Grunde liegt, daß bei der Ausbreitung der Reizung über den Nerven kein einfaches Ueberleiten von Bewegung erfolgt, sondern daß jedes Nervenelement in dem benachbarten Elemente lebendige Kraft freimacht. HERMANN kommt nach der Betrachtung der existierenden Theorien zu dem Schlusse, daß die Nervenerregung am ehesten auf einem chemischen Prozeß beruhen dürfte. Er sagt: „Vieles spricht dafür, daß in der Nervensubstanz ein äußerst unbeständiger Stoff, gleichsam ein Explosionsstoff, der beim geringsten Anstoß sich spaltet, enthalten ist. Es wäre möglich, der Vorstellung Raum zu geben, daß diese Spaltung successive von Teilchen zu Teilchen sich fortpflanzt, ähnlich wie das Pulver entlang einem Pulverfaden verbrennt.“ Allein HERMANN giebt weder die Natur des Explosionsstoffes an, noch die

Ursache der Uebertragung des Spaltungsprozesses von Molekel zu Molekel.

Sehen wir nun zu, wie die Nervenerregung vom Standpunkte unserer Theorie gedeutet zu werden vermag. Wir hatten oben erkannt, daß die Auslösung einer Muskelkontraktion durch die Thätigkeit von Sauerstoff, welcher die Spaltung einer ganzen Reihe von Muskelteilchen unter Freiwerden von Sauerstoff verursacht, bedingt ist. Da aber Muskelkontraktion unter physiologischen Verhältnissen durch Nerven ausgelöst werden, so muß der die Kontraktion auslösende Sauerstoff anfänglich in der Nervenendigung im Muskel erscheinen. Und dies dürfte am ehesten in der Weise geschehen, daß auch über den Nerven hin eine Sauerstoffwelle verläuft. Wir gelangen also zu dem Schlusse, daß die Nervenerregung, in einer successiv fortschreitenden Spaltung von Nervenmolekeln unter Freiwerden von Sauerstoff, der die Ursache für die Spaltung benachbarter Molekel abgiebt, besteht. Diese Formel präzisiert wohl genauer den Chemismus des Prozesses, in welchem HERMANN das Wesen der Nervenerregung erblickte. Zu Gunsten unserer Formel spricht nicht nur die Möglichkeit, die Nervenerregung mit allen vitalen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen und deren Beziehung zur Muskelerregung zu erklären, sondern auch die Möglichkeit, die verschiedenartigsten Aeußerungen der Nerventhätigkeit auf einen und denselben Prozeß zurückzuführen. Dies wollen wir auf den nächstfolgenden Seiten zu zeigen suchen.

Die Fähigkeit der Nerven unter dem Einflusse von mechanischen, chemischen und thermischen Reizen in Erregung zu geraten, ist vom Standpunkte unserer Theorie ebenso zu erklären, wie die Fähigkeit des Muskels, unter dem Einflusse derselben Reize sich zu kontrahieren, also dadurch, daß die besagten Reize dem Sauerstoff Zutritt zur Nervensubstanz verschaffen. Was die elektrischen Reize betrifft, so wirken sie wohl eher durch den Sauerstoff, der als Produkt der Elektrolyse erscheint.

Vom Standpunkte unserer Theorie ist die Fähigkeit des Nerven, den Reiz in zwei Richtungen fortzuleiten, sowie die Fähigkeit der Nerven, die Erregung isoliert zu übertragen, erklärlich. Um letztere Fähigkeit zu erklären, haben wir anzunehmen, daß die Nervenfasern von einer reduzierenden Substanz umgeben sind, die den Sauerstoffzutritt von außen her dadurch ausschließt, daß sie den Sauerstoff aufbraucht. Diese Substanz wird die Sauerstoffwelle, welche über

die Nervenfaser fortläuft, nicht völlig absorbieren, da wir uns vorstellen müssen, daß die Molekeln der Nervensubstanz einander so genähert sind, daß der bei Spaltung einer Molekel frei werdende Sauerstoff sich sofort mit dem Bionuklein der benachbarten Molekel verbindet.

Gegen die entwickelte Theorie könnte man anführen, daß der chemische Spaltungsprozeß einer ungeheuren Zahl von in Reihen angeordneten Nervenmolekeln beträchtliche Zeit beanspruchen müßte, während doch die Nervenerregung bis zu 60 Meter in der Sekunde zurücklegt. Aus dem Grunde betont HÖRMANN, daß die Nervenerregung auf solchem Prozesse nicht zu beruhen vermochte. Er hebt hervor, daß von der Theorie eine Uebertragung der Spaltungsprodukte von Molekel zu Molekel auf dem Wege der Diffusion, die einen sehr langsamen Prozeß repräsentiert, verlangt wird. Nach Versuchen von PFEFFER legt 1 Milligramm Chlornatrium bei der Diffusion 1 Meter in 319 Tagen zurück. Daher nimmt HÖRMANN an, daß zwischen den Nervenmolekeln keine Zwischenräume bestehen, daß mit anderen Worten der ganze Nerv eine Molekel darbietet.

Wir erachten solch eine unwahrscheinliche Hypothese[1]) nicht für nötig. Bei der Spaltung lebendiger Molekeln muß in der That lebendige Kraft, die eine Beweglichkeit der Spaltungsprodukte bedingt, frei werden. In derselben Richtung muß auch die Hydrolysation dieser Produkte wirken. Schließlich hat man im Auge zu behalten, daß der bei Spaltung lebendiger Molekeln sich abscheidende aktive Sauerstoff starke chemische Affinität zu den benachbarten nicht gespalteten Molekeln besitzt.

Bei der Nervenerregung müssen wir also ganz anderen Bedingungen als bei den Erscheinungen der gewöhnlichen Diffusion begegnen. Diese Bedingungen nähern sich denjenigen, die wir beim Verhalten eines Pulverfadens, mit welchem HERMANN den Nerven vergleicht, antreffen, indem beim Verbrennen eines Pulverfadens ebenfalls Uebertragung der Spaltung von einem Teilchen zum anderen stattfindet. Der Aehnlichkeit des Prozesses mit der Fortpflanzung der Nervenerregung wird dadurch prägnanter, daß beim Verbrennen

---

1) Diese Hypothese hatte PFLÜGER im Jahre 1875 in folgenden Worten ausgesprochen: „Es hat also keine prinzipielle Schwierigkeit, sich zu denken, daß im lebendigen Organismus die Polymerisierung in infinitum vorschreitet, so daß große schwere Massen entstehen, die faktisch nur ein einziges chemisches Eiweißmolekel enthalten. Vielleicht besteht das ganze Nervensystem mit allen wirksamen Teilen aus einem einzigen solchen Riesenmolekül.“

von Pulver ebenfalls Abscheidung von Sauerstoff aus den sich spaltenden Molekeln eines an Sauerstoff reichen Körpers (Salpeter) stattfindet. Bei der Aehnlichkeit der beiden Prozesse und bei der Schnelligkeit, mit welcher das Verbrennen des Pulverfadens vor sich geht, muß also die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Nervenerregung uns nicht sonderlich auffallen.

Sehen wir nun zu, wie vom Standpunkte unserer Theorie die Thätigkeit der Sinnesorgane gedeutet werden kann.

Wir hatten bereits darauf hingewiesen, daß die Reizung der Nervenfaser dank verschiedenen Agentien auf einen und denselben Prozeß zurückzuführen ist — den durch diese Agentien erleichterten Zutritt zum Nerven von Sauerstoff, welcher eben den Erreger der Nervenreizung repräsentiert. Gehen wir von dem Gesichtspunkte aus, so müssen wir annehmen, daß auch die Sinnesorgane nach demselben Prinzip thätig sind. Sie haben Apparate zu repräsentieren, welche die Einwirkung unbedeutender äußerer Einflüsse in Form von Schall- resp. Lichtwellen oder von mechanischen, chemischen und thermischen Reizen, in der Weise modifizieren, daß ein Hineingelangen unbedeutender Mengen von Sauerstoff in den empfindenden Nerven die Folge ist.

Wollen wir nun zusehen, inwiefern die Physiologie der Sinnesorgane unsere Hypothese brauchbar erscheinen läßt.

Das Tastorgan repräsentiert bekanntlich einen Apparat, welcher in einer hülsenförmigen Vorrichtung die vielfach gewundene Nervenendigung einschließt. Dieser Apparat trägt den Namen eines Tastkörperchen. Die Thätigkeit der Tastkörperchen läßt sich wie folgt erklären. Denken wir uns, daß die den Nerven stützende Hülse aus reduzierender Substanz besteht. Diese Voraussetzung erscheint sogar zwingend, wenn wir die Hülsen als Produkte vitaler Thätigkeit der lebendigen Substanz — als Produkte, in deren Zahl reduzierende Substanzen, wie oben erwähnt, die Hauptrolle spielen, betrachten. Die reduzierende Schicht verhindert den Zutritt von äußerem Sauerstoff zu dem von derselben beherbergten Nerven. Wird aber auf das Tastkörperchen ein Druck ausgeübt, so verdünnt sich die schützende reduzierende Schicht an der betreffenden Stelle, der Sauerstoff gelangt durch letztere zu dem Nerven und löst eine Sauerstoffwelle aus.

Durch einen ähnlichen Mechanismus ließe sich die Thätigkeit der Nervenapparate, welche die Kälteempfindung vermitteln, erklären.

Indem die Kälte eine Retraktion der reduzierenden Schicht zur Folge hat, muß sie das Eindringen von umgebendem Sauerstoff zu dem sensiblen Nerven befördern. Herabgesetzte Temperatur kann aber auch in anderer Weise beitragen, und zwar in der Weise, daß sie den Prozeß der Absorption von Sauerstoff durch die reduzierenden Substanzen abschwächt, was eben begreiflich, da dieser Prozeß, als chemischer Prozeß, bei Temperaturerniedrigung eine Verlangsamung erfahren muß.

Die Thätigkeit der Nervenapparate, welche die Wärmeempfindung vermitteln, dürfte auf einem etwas abweichenden Mechanismus beruhen. Die Wärme bewirkt einen Blutzufluß und vergrößert dadurch den Gehalt an Sauerstoff um die Nervenendigungen herum. Die Schicht reduzierender Substanz, welche den Sauerstoff im Falle eines geringeren Gehaltes vom Nerven abschloß, vermag bei zunehmender Quantität denselben nicht abzuhalten.

Indessen besteht die reduzierende Schicht aus Spaltungsprodukten lebendiger Substanz und kann also nicht unverändert bleiben. Unter dem Einfluß verstärkter Lebensthätigkeit (dank Wärme) muß die Schicht sich vergrößern und bei herabgesetzter Lebensthätigkeit sich verkleinern. Die Empfindlichkeit beider Apparate für Sauerstoff muß demnach variieren und darin haben wir die Erklärung für den Grund der Verschiebung des sog. Temperaturnullpunktes und für die verschiedenartigen Aenderungen in der Sphäre des Temperatursinnes, den man bei längerer Einwirkung von Kälte oder Wärme beobachtet, zu suchen.

Gehen wir nun dazu über, die Thätigkeit des Gehörsinnes zu erklären. Nach der zumeist bekannten Theorie von Hensen bewirken bei den Säugetieren die Schallwellen durch Vermittelung der Endolymphe des Labyrinths Mitschwingungen in den Saiten der Membrana basilaris, auf welcher die mit Härchen versehenen Zellen des Corti'schen Organs gelagert sind. Diese Härchen stoßen beim Anschlagen einer Saite der Membrana basilaris gegen die darüber befindliche Deckmembran an und erfahren eine Reizung, welche sie den mit den Zellen verbundenen Endigungen des Gehörnerven mitteilen. Es dünkt uns hier die Voraussetzung wenig wahrscheinlich, daß die Reizung der Gehörhärchen eine Folge von Stößen gegen die Deckmembran sei. In der That, wie wäre dann zu erklären, daß unser Ohr feine Unterschiede in der Schallstärke wahrzunehmen und eine ganze Skala von Empfindungen, angefangen mit den kaum merklichen und bis zu den stärksten herauf, aufzubauen vermag?

Dieser Empfindungsskala müßte doch eine Skala von verschieden starken Stößen der Härchen gegen die Membran entsprechen. Ist nun ein solcher Mechanismus denkbar? Dürfte nicht die Deckmembran, bei der den Härchen so nahen Nachbarschaft, welche notwendig ist, um das Entstehen von schwachen Schallen zu erklären, ein Stillstehen in den Schwingungen der Härchen im Falle der Verstärkung dieser Schwingungen herbeiführen?

Unsere Theorie gestattet, die Thätigkeit des Gehörorgans zu erklären, ohne von der Vorstellung mechanischer Stöße der Gehörhärchen gegen die Deckmembran Gebrauch zu machen. Die Endolymphe enthält in derselben gelösten Sauerstoff, welcher in die Gehörhärchen eindringen kann. Da bei Fehlen von Schallwellen der Gehörnerv in Ruhe bleibt, so haben wir anzunehmen, daß zwischen den Gehörnervenendigungen und den Härchen eine Schicht reduzierender Substanz, welche den Sauerstoff absorbiert und dadurch dessen Zutritt zu den Nervenendigungen absperrt, sich befindet. Denken wir uns jetzt, daß eine von den Saiten der Membrana basilaris in Bewegung geraten ist und z. B. 1000 Schwingungen in der Sekunde vollführt. Die Folge davon muß die sein, daß der Zutritt von Sauerstoff zu den Gehörhärchen plötzlich um 1000 mal größer wird und dieser daher in die Nervenfaser eindringt.

Hat man das zugegeben, so ist dic erwähnte Fähigkeit des Ohres, Schallerscheinung verschiedener Stärke genau zu differenzieren, leicht zu deuten. Diese Fähigkeit läßt sich nämlich dadurch erklären, daß von Härchen Sauerstoffquanta, die Amplitudengröße der schwingenden Härchen proportional sind, aufgefangen werden. Dafür spricht die Thatsache, daß bei vielen Tieren keine Deckmembran vorhanden ist und die Härchen frei in der Endolymphe schwimmen. Hier existiert nichts, woran die Härchen anstoßen können und muß also die Schallempfindung nicht das Resultat von Stößen, sondern das Resultat einer anderen Ursache repräsentieren.

Es ist daher anzunehmen, daß die Reizung des Gehörnerven durch vermehrten Eintritt von Sauerstoff aus der Endolymphe in die schwingenden Gehörhärchen zu erklären sein dürfte. Was die Deckmembran anlangt, so dürfte sie, nach unserer Meinung, eine der ihr angewiesenen entgegengesetzte Rolle spielen und zwar die, daß sie allzu starke Schwingungen der Härchen dämpft und damit die Reizungen schwächt.

Daß die Thätigkeit der Sinnesorgane nicht auf mechanischer Erregung der sensiblen Nerven, sondern auf einem chemischen

Prozesse begründet ist, davon überzeugt uns die Physiologie des Gesichtssinnes. Die mechanische, von den Wellen des Lichtäthers ausgeübte Wirkung ist so gering, daß die Physiologen es für unmöglich erachten, die Erregung des Sehnerven durch diese Wellen anzunehmen und die Erklärung in einem chemischen Prozesse suchen. FORSTER z. B. glaubt, daß diese Lichtstrahlen die Zersetzung einer unbeständigen Substanz, deren Produkte erregt auf die Netzhaut einwirken, verursachen. Eine derartige Substanz könnte der Sehpurpur repräsentieren, und in der Fovea centralis, wo der Sehpurpur fehlt, eine dem letzteren analoge Substanz, d. h. eine Substanz, die vom Lichte zersetzt wird. Die Existenz einer solchen Substanz erkennt auch KÜHNE an, der den Sehpurpur entdeckt hat.

Mithin finden wir in der Physiologie des Gesichtssinnes einen bereits vorbereiteten Boden für unsere Theorie. Wir brauchen bloß zu supponieren, daß der Sehpurpur, resp. die demselben analogen Substanzen, vom Lichte zersetzt werden und Sauerstoff ausscheiden, der nun auf die äußere Stäbchen- und Kölbchenschicht einwirkt und in den mit den letzteren kommunizierenden Endigungen des Opticus eine Nervenerregung auslöst.

Diese Annahme ist sehr wahrscheinlich, indem das Licht bekanntlich reduzierende Eigenschaften besitzt und daher viele Verbindungen, wie z. B. Silberoxyd, Eisenoxyd (in Gegenwart von Oxalsäure), Uranoxyd, Chromsäure reduziert. Hierbei muß Sauerstoff abgeschieden werden. Sehr möglich, daß auch der Sehpurpur in die Reihe solcher Stoffe hereingehört. Ist das so, dann haben wir uns zu denken, daß dem optischen Bilde der Objekte auf der Netzhaut ein latentes, sozusagen chemisches Bild, zusammengesetzt aus freigewordenen Sauerstoffatomen, entspricht.

Daß die Thätigkeit des Geschmacks und des Geruchsorgans auf einem chemischen Prozesse beruht, darüber können kaum welche Zweifel aufkommen. Den Gedanken spricht auch FUNKE in folgenden Worten aus: „Es ist in höchstem Grade wahrscheinlich, daß die Erregung der Geschmacks- und der Geruchsnerven durch schmeckende und riechende Substanzen nur darauf beruht, daß diese Substanzen einen chemischen Prozeß auslösen." Wir haben also Grund, zu erwarten, daß die Thätigkeit der in Rede stehenden Organe ebenfalls durch unsere Theorie zu erklären sein wird.

Sehen wir zunächst einmal zu, auf was für einen Prozeß die Thätigkeit des Geschmacksorgans zurückzuführen ist. Auf das Wesen der Thätigkeit dieses Organs wirft ein grelles Licht die Thatsache, daß Stoffe, die verschiedene Geschmacksempfindungen bedingen: süße, bittere, saure, salzige, auch in der Reihe der Spaltungsprodukte der lebendigen Substanz auftreten. Zucker, Salze, Säuren sind Nähringredientien der Molekel lebendiger Substanz. Wir sind demnach berechtigt zu denken, daß bei Einwirkung solcher Stoffe auf die Geschmackszelle sich auf Kosten dieser Stoffe und der in den Geschmackszellen enthaltenen Stoffe lebendige Substanz bildet. Die zuletzt genannten Stoffe müssen demnach die ergänzenden Bestandtteile, welche mit dem schmeckenden Stoffe lebendige Substanz liefern, repräsentieren.

Von diesem Standpunkte aus würde die Thätigkeit des Geschmacksorganes in folgender Weise zu erklären sein: Solange die schmeckende Substanz, z. B. Zucker mit der Geschmackszelle nicht in Berührung gebracht ist, solange entsteht in der letzteren keine Reizung, indem auf die in derselben eingeschlossenen Stoffe, als auf nicht-lebendige, der äußere Sauerstoff keine Wirkung ausübt. Gleichzeitig schützen jene Stoffe vermöge ihres Gehaltes an reduzierenden Körpern die Endigungen des Geschmacksnerven von dem äußeren Sauerstoff. Sobald aber der Zucker in die Geschmackszelle eindringt, findet momentan Bildung lebendiger Substanz und darauf Spaltung der letzteren unter dem Einflusse des äußeren Sauerstoffes statt. Bei der Spaltung wird Sauerstoff frei, der nun eine Reizung in der Geschmackszelle und der mit derselben verbundenen Nervenfaser hervorruft.

Wie wäre aber zu erklären, daß dem Organismus gänzlich fremde Substanzen gleichfalls Geschmacksempfindung hervorzurufen vermögen?

Die Deutung dieses Faktums ist zu suchen in einer Strukturähnlichkeit der fremden Substanzen und der im Organismus befindlichen Stoffe und in der Fähigkeit der ersteren die letzteren beim Aufbau der lebendigen Molekel zu ersetzen. Es ist z. B. sehr wahrscheinlich, daß die Milchsäure, die einen sehr häufigen Bestandteil der Tierzellen bildet, durch irgend eine andere Säure, z. B. Citronensäure ersetzt werde, daß also Citronensäure bewirke, daß lebendige Substanz in einer Geschmackszelle entsteht, welche die Milchsäure bedarf. Die Folge davon mußte eine Reizung durch

Citronensäure derjenigen Nervenfaser, deren Thätigkeit das Zustandekommen der sauren Geschmacksempfindung hervorbringt und mußte uns daher die Citronensäure sauer erscheinen.

Durch eine ähnliche Hypothese dürfte die specifische Wirkung auf das Geruchsorgan derjenigen riechenden Substanzen, die chemische Verbindungen, welche in unserem Organismus vorkommen, resp. solche, die den letzteren gleichwertig sind, repräsentieren, zu deuten sein. Hierher gehören die Säuren (z. B. Essigsäure, Buttersäure u. a.), die zusammengesetzten Ammoniake, der Schwefelwasserstoff und dessen Substitutionsprodukte u. s. w. Anlangend die Stoffe, die oxydieren (Chlor, Brom, Ozon etc.), so ist ihre Riechfähigkeit vom Standpunkte unserer Theorie am ehesten dadurch zu erklären, daß sie die reduzierende Schicht, welche die lebendige Substanz der Riechzellen bedeckt, verkleinern und auf diese Weise die letztere dem äußeren Sauerstoff zugänglich machen.

Beide Hypothesen sind indessen nicht zu gebrauchen, um die Beeinflussung des Geruchsorgans durch Alkohole, Aether und die ungeheure Zahl der ätherischen Oele, die durch ungewöhnliche Feinheit ihrer Wirkung sich auszeichnen, zu erklären.

Die Riechfähigkeit dieser Substanzen muß eine andere Deutung haben, und die wäre nach unserer Meinung die, daß jene Substanzen zu ozonieren, d. h. den Sauerstoff der Luft zu verdichten vermögen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß sie eben darum die Riechzellen beeinflussen, daß sie beim Eindringen in die letzteren verdichteten Sauerstoff hineinbringen. Diese Substanzen dringen in verschiedene Riechzellen ein, wodurch sich die Verschiedenheit der von ihnen hervorgerufenen Gerüche erklärt.

Alle Erklärungen der Wirkungsweise der Riechstoffe lassen sich also darauf zurückführen, daß diese Stoffe dadurch ihren Einfluß ausüben, daß sie zu den Riechzellen dem äußeren Sauerstoff, welcher dann als Erreger der letzteren fungiert, Zutritt verschaffen. Zu Gunsten unserer Auffassung spricht die Thatsache, daß die Riechstoffe nur in dem Falle wirken, wenn sie mit Luft gemengt sind.

Die Notwendigkeit der Gegenwart von Luft bei dem Riechakt kann durch folgenden Versuch dargethan werden:

Der reine Wasserstoffstrom wird aus dem Gasometer vermittelst eines olivenförmigen Aufsatzes in das eine Nasenloch hineingeleitet,

während man das andere Nasenloch mit dem Finger zudrückt. Ein besonderer Hahn gestattet es dem H-Strom, durch ein Gefäß mit einer am Boden des letzteren befindlichen schwachen Schwefelammoniumlösung und ein anderer Hahn durch ein Gefäß mit dem zu prüfenden Riechstoffe, am besten Anisöl, gehen zu lassen. Schließlich gestattet ein dritter Hahn an Stelle des Wasserstoffes durch das zuletzt genannte Gefäß hindurch einen Luftstrom in die Nase hineinzuleiten.

Der Versuch besteht nun darin, daß man zunächst aus dem ganzen Apparat die Luft durch einen Wasserstoffstrom verdrängt. Darauf öffnet man den ersten Hahn und atmet 2—3 mal (in Zwischenräumen von je 10 Sekunden) Wasserstoff, der eine Beimengung NH_4HS enthält, ein. Man schließt dann den ersten Hahn, öffnet den zweiten und atmet Wasserstoff mit Anisöldämpfen ein: man überzeugt sich, daß der Geruch des letzteren gar nicht wahrgenommen wird. Endlich öffnet man statt des zweiten den dritten Hahn und veranlaßt hierdurch beim Einatmen das Eintreten in die Nasenhöhle von Luft, die mit Anisöldämpfen geschwängert ist: man empfindet einen starken Geruch nach Anisöl [1]).

Dieses Experiment kann man nicht so auffassen, daß das Schwefelammonium den Geruch des Anisöls verdeckt, indem das letztere auch dann nicht wahrgenommen wird, wenn durch wiederholtes Einatmen von Wasserstoff die NH_4HS-Dämpfe gänzlich aus der Nasenhöhle entfernt sind, während umgekehrt der Geruch des Anisöls empfunden wird, sobald in die Nasenhöhle Luft hineingelassen ist. Die einzige Erklärung des Experimentes besteht darin, daß das Schwefelammonium als reduzierende Substanz den Sauerstoff der oberflächlichen Schicht der Nasenschleimhaut absorbiert und hierdurch bei diesem Experiment völlige Entfernung des Sauerstoffes erlangt wird.

Vergleichen wir nun die Thätigkeiten der verschiedenen Sinnesorgane untereinander, so sehen wir, daß der Chemismus überall derselbe ist. Mögen die Sinnesorgane noch so kompliziert gebaut sein, besteht doch der Endzweck ihrer Einrichtung darin, daß dem Sauerstoff Zutritt zu den

1) Bei diesen Versuchen brauchte ich den Wasserstoff, welcher mittels reiner Zink- und Salzsäure erhalten und dann durch die Lösungen des Sublimats Kali hypermanganicum und Kali causticum geleitet wurde.

Endigungen der sensiblen Nerven geboten wird. In ruhendem Zustande hat der Sauerstoff zu den letzteren gar keinen Zutritt. Als Hindernis dient, wie wir oben erörterten, eine Schicht reduzierender Substanz, welche die Nervenendigungen umgiebt. Die Thätigkeit der Sinnesorgane hat den Zweck, dem Sauerstoff zu verhelfen, daß jenes Hindernis beseitigt werde. Wir haben gesehen, daß dies auf verschiedene Weise erreicht wird.

In den Tastorganen und den Kältegefühl vermittelnden Organen verkleinert sich die reduzierende Schicht durch den mechanischen Druck resp. durch die Abkühlung. In dem die Wärmeempfindungen vermittelnden Organe wird die Sauerstoffzufuhr durch Blutzufluß gesteigert.

Im Geschmacks- und (zum Teil) im Geruchsorgane wird die reduzierende Schicht durch Umwandlung in lebendige Substanz entfernt. Im Gehörorgane findet vermehrter Sauerstoffzutritt statt infolge der Härchenschwingungen in der Endolymphe. Am meisten abweichend gegenüber den aufgezählten Sinnesorganen gestaltet sich das Sehorgan, in welchem der Sauerstoff nicht von außen zu den Endigungen der sensiblen Nerven zugeführt wird, sondern an Ort und Stelle durch Reduktion der Sehsubstanzen sich bildet. Das Sehorgan repräsentiert daher das vollkommenste Sinnesorgan.

Wollen wir nun die Frage erörtern, in welcher Weise vom Standpunkte unserer Theorie die Prozesse, die in den Nervencentren sich abspielen, zu deuten sind. Wir können diese Frage hier nur ganz im allgemeinen berühren.

Die moderne Histologie lehrt, daß die Nervencentren aus einer zahllosen Menge von Neuronen, die durch ihre Endigungen in nahe Nachbarschaft gebracht sind, bestehen. Nehmen wir zwei solche Neurone und legen wir uns die Frage vor, was die Folge sein dürfte, wenn eine Sauerstoffwelle[1]), welche über das eine Neuron sich fortpflanzt, die Grenzschicht, welche die Endigungen dieses Neurons von den Endigungen des anderen scheidet, erreicht hat. Die Grenzschicht dürfte aus reduzierender Substanz zusammengesetzt sein, indem die lebendige Nervensubstanz nur bei der Bedingung sich intakt

1) So bezeichnen wir den über den Nerven fortpflanzenden Spaltungsprozeß, indem ja das sich hierbei vollziehende Freiwerden von aktivem Sauerstoff die wichtigste Seite des Prozesses und die Ursache der Ausbreitung des letzteren über den Nerven ausmacht.

erhalten kann, daß sie von dem umgebenden Sauerstoff durch den letzteren absorbierende Substanzen geschützt wird.

In dem Maße aber, als die Grenzschicht den Sauerstoff absorbiert, wird dieselbe der in ihr erhaltenen reduzierenden Substanzen verlustig und für die nachfolgenden Sauerstoffwellen immer leichter durchgängig, so daß schließlich diese durch die betreffende Schicht in das andere Neuron passieren und dort den gleichen Prozeß auslösen. Es ist sehr wichtig, zu bemerken, daß die Grenzschicht zwischen den Neuronen außer den reduzierenden Substanzen auch diejenigen Stoffe, welche sich nur durch aktiven Sauerstoff oxydieren können, erhalten muß. *Daher muß die Bindung der Neuronen nicht eine Folge der Wirkung des Sauerstoffes des Blutes, sondern in der Nervenerregung sein.*

Als Folge wiederholter Sauerstoffwellen erscheint also zwischen den Neuronen die Spur in Form einer verringerten Menge von Substanzen, welche von aktivem O oxydiert werden. Auf dem Entstehen solcher Spuren dürfte demnach das Gedächtnis begründet sein, jene hauptsächlichste und rätselhafteste Eigenschaft des Nervensystems, die weder durch die Theorie jener Biologen, welche das Gedächtnis als Eigenschaft der lebendigen Substanz überhaupt betrachten, noch durch die Theorie, welche das Gedächtnis jeglicher Substanz vindiziert, zu erklären ist. Das Gedächtnis der Nervencentren hat wenig mit diesen niederen Gedächtnisarten gemein.

Es fordert zu seiner Aeußerung mindestens zwei Zellen, welche es zu einem Komplex vereinigt. Die Reflexbogen stellen solche Komplexe dar. Unsere Theorie erklärt nicht nur das Wesen des Gedächtnisses, sie zeigt auch, warum das Gedächtnis den psychischen Erscheinungen, die, wie wir weiter sehen werden, auf die Bildung von Neuronenkomplexen beruhen, zu Grunde liegen muß.

Nehmen wir jetzt an, daß wir es nicht mit zwei, sondern mit einer ganzen Reihe von einander genäherten Neuronen zu thun haben. Nach unserer Theorie hat eine solche Reihe bei wiederholt durch die Sinnesorgane eintretenden Wellen einen Komplex, der den Weg für die sich fortpflanzenden Sauerstoffwellen abgiebt, entstehen zu lassen. Die Bindung der Reihen muß von der Peripherie beginnen und gegen die in der Gehirnrinde gelegenen Centren vorschreiten. Da aber mit der Zeit die Komplexe immer durchlässiger werden, so müssen die Sauerstoffwellen, nachdem sie an die Rinden-

centren angelangt sind, noch weiter vorzuschreiten streben und sich im Assoziationscentrum begegnen. In diesem Centrum, welches im vorderen Stirn- und im vorderen Scheitellappen liegt, kreuzen sich die Bahnen aus allen Centren der Sinnesorgane. Diese Region bezeichnet FLECHSIG als Centrum des Bewußtseins.

Wollen wir nun zusehen, wie vom Standpunkte unserer Theorie die Thätigkeit dieses Centrums sich gestalten muß. Wenn wir jede einzelne den Nerven durchlaufende Sauerstoffwelle mit dem einen Pulverfaden durchlaufenden Funken zu vergleichen berechtigt waren, so werden wir die ungeheure Anzahl von O-Wellen, die in den Organismus durch die Sinnesorgane eindringen und im Organ des Bewußtseins zusammentreffen, mit einer Flamme, resp. mit einer Lichterscheinung, die in letzterem wie in einem Brennpunkte auflodert, zu vergleichen haben.

Die Hypothese eines solchen Brennpunktes sich kreuzender Sauerstoffwellen dünkt uns sehr verlockend, indem derselbe gerade die Eigenschaften, die dem Bewußtsein eigentümlich sind, besitzen dürfte.

1) In der That hat erstens dieser Brennpunkt etwas äußerst Labiles, stets aus den peripheren Sauerstoffwellen sich Bildendes und stets Vergehendes zu repräsentieren, indem die Sauerstoffwellen von dem Brennpunkte aus nach allen Seiten hin über die Neuronen, wo sie von den reduzierenden Substanzen absorbiert werden, sich ausbreiten müssen. Da der Sauerstoff nach unserer Theorie auch die Ursache der Muskelkontraktionen ist, so dürfen letztere die Folge davon sein, daß Sauerstoffwellen von dem Sauerstoffbrennpunkte aus auf die motorischen Centren sich fortpflanzen. Der Sauerstoffbrennpunkt hätte also ein Centrum aktiver Thätigkeit des Organismus zu repräsentieren. Diese Funktion des Sauerstoffbrennpunktes ist als dessen hervorragende Eigenschaft zu betrachten, indem der Sauerstoff in diesem Brennpunkte fortwährend in den Nervencentren selbst, nicht in den umgebenden Geweben sich bildet; daher also schnell und ungehindert in jedem Augenblick über die am leichtesten durchgängigen Neuronen nach einem beliebigen Punkte des Körpers hingeleitet werden kann.

2) Da der Sauerstoffbrennpunkt von den von der Peripherie kommenden O-Wellen gebildet wird, so muß derselbe bei Schwächerwerden der letzteren eine Abschwächung erleiden und selbst verschwinden. Ein Schwächerwerden der peripherischen Wellen des

Sauerstoffes muß nun bei abgeschwächter Thätigkeit der Sinnesorgane eintreten, z. B. wenn wir die Augen schließen und unseren Körper in bewegungslosen Zustand versetzen. Der sich hierbei einstellende Schlaf dürfte eben in einem Erlöschen des Sauerstoffpunktes und mit diesem auch des Bewußtseins bestehen.

Ein Schwächerwerden der O-Wellen müßte auch in dem Falle eintreten, wenn sie an den Grenzen zwischen den Neuronen eine vermehrte Quantität reduzierender Substanzen, von welchen sie absorbiert werden, antreffen. Diese vermehrte Quantität entsteht allmählich bei der Ermüdung oder rasch bei erschwertem Blutumlauf. Im ersten Falle wird die Folge der Schlaf sein, welcher dadurch von dem oben erwähnten sich auszeichnet, daß er ohne Mitwirkung unseres Willens sich einstellt und im zweiten die Ohnmacht. In beiden Fällen muß der Sauerstoffbrennpunkt erlöschen.

3) Die O-Wellen müssen auch in dem Falle eine Abschwächung erleiden, wenn sie zwischen den Neuronen die fremden Stoffe treffen, welche vom aktiven O oxydiert werden. Zu solchen Stoffen gehört Alkohol. Die paralysierende Wirkung des Alkohols erklärt sich also sehr einfach nach unserer Theorie dadurch, daß dieser Stoff die trennende Schicht zwischen den Neuronen vergrößert und den Uebergang der Erregung von einem Neuron zum anderen erschwert.

4) Demgegenüber muß die Sistierung der Erregung die Folge der Wirkung nicht der oxydierbaren, sondern der oxydierenden Substanzen sein, wenn diese letztere auf die reduzierende Substanz einwirkt, welche die Nervenfaser umhüllt. Das Resultat dieser Wirkung muß der Verlust der Isolierbarkeit und das Aufhören der Thätigkeit des Neurons sein. Zu solchen oxydierenden Substanzen gehören Chloroform, Jodoform, Bromsalze u. a. Dieselben wirken anästhesierend infolge Freiwerdens des aktiven O, wie schon Binz darauf hingewiesen hat. Unsere Theorie bestätigt diese Ansicht und erklärt außerdem die Ursache, warum das Protoplasma, welches selbst aktives O befreit, durch die Wirkung des äußeren aktiven O paralysiert wird.

5) Da der O-Brennpunkt durch Kreuzung der O-Wellen, welche von den Sinnesorganen kommen, gebildet wird, so muß er ein Gebilde repräsentieren, welches die Wellen zusammenfaßt und die von denselben produzierten Komplexe zu einem gemeinsamen, ungewöhnlich zusammengesetzten Komplexe vereinigt. In dem letzteren hat bei der Schnelligkeit der Fortpflanzung der Nervenerregung,

die bis 60 m in der Sekunde erreicht, die Entfernung keine Rolle zu spielen. Alle Punkte dieses Komplexes, wenn sie auch bedeutend von einander abstehen, müssen gleichsam einen Punkt ausmachen. Alle Wellen, die hier ablaufen, müssen also zu einem Prozesse verschmelzen.

6) Dieses Verschmelzen gleicht indessen nicht dem Verschmelzen bei physikalischen Prozessen, z. B. bei den wellenförmigen Bewegungen, die sich summieren und eine neue Bewegung bilden, wobei sie selbst verschwinden. In den Neuronenkomplexen kommt eine solche Summierung der Wirkungen und eine solche Vereinfachung nicht vor, indem alle hier ablaufenden Wellen, wenn sie auch zu einem Ganzen verschmelzen, dennoch ihre Individualität bewahren. Als Folge muß ein Prozeß besonderen Charakters entstehen, der den gewöhnlichen physikalischen Erscheinungen unähnlich ist.

Sehr wichtig ist der Umstand, daß die den gemeinsamen Neuronenkomplex durchsetzenden Wellen dadurch entstehen, daß die Sinnesorgane von Reizungen, welche dem Charakter und der Intensität nach — von der ungewöhnlich feinen Einwirkung der Aetherwellen auf das Sehorgan und bis zu der groben mechanischen Einwirkung auf das Tastorgan — verschieden sind, beeinflußt werden. Vermöge der besonderen Einrichtung der Sinnesorgane aber erregen in den Nerven alle diese Reizungen einen und denselben Prozeß. Es beginnt also bereits in dem Sinnesorgane eine Umgestaltung, welche das weitere Verschmelzen der Reizungen zu einem Prozesse in die Wege leitet.

7) Der Komplex, der aus einer ungeheuren Menge einzelner, beim Verschmelzungsprozeß nicht verschwindender Sauerstoffwellen besteht, welche von der Peripherie vermöge der Reizung verschiedener Sinnesorgane eindringen, dürfte gleichsam einen Abdruck resp. ein Abbild der Außenwelt im Nervensystem repräsentieren. Hierbei muß jede einzelne Reizung selbst, welche an dem Zustandekommen jenes Abbildes partizipiert und ein Bestandteil des letzteren geworden ist, sich verändern. Sie muß ihrer Einfachheit verlustig werden. Indem sie mit den Reizungen anderer Sinnesorgane im Komplexe verschmilzt, muß sie den undefinierbaren, specifischen Charakter, welcher der Empfindung eigentümlich ist, erlangen. In der Fähigkeit jeder einzelnen Reizung, mit dem Abbilde der Außenwelt zu associieren, müssen wir also die Ursache der Entstehung der Empfindungen suchen.

8) Da der O-Brennpunkt einen Sauerstoffvorrat im Centrum des gemeinsamen Komplexes repräsentiert, so können über den letzteren von dem Brennpunkte aus O-Wellen sich fortpflanzen und dadurch ein Auflösen des Komplexes verhüten, falls O-Wellen von der Peripherie aus in denselben zu gelangen aufhören sollten. Das ist der Grund, warum wir, wenn wir die Augen schließen, das soeben geschaute Objekt uns vorzustellen vermögen. Die Vorstellung ist allerdings nicht so deutlich wie das Objekt selbst, was davon herrührt, daß die kleinen Züge und Details, die im Objekte vorhanden waren, in der Vorstellung sich verwischen. Und dies läßt sich wohl dadurch erklären, daß der Komplex in seiner centralen Partie dank den aus dem O-Brennpunkte in denselben eintretenden O-Wellen erhalten bleibt, während die periphere Neurone, da die O-Wellen von der Peripherie aus aufhören, in Wegfall kommen.

Was muß nun die Folge sein? Da der gemeinsame Komplex mit der Außenwelt durch Vermittelung der peripheren Neurone in Berührung sich befindet, so muß derselbe mit Wegfall der letzteren in bedeutendem Grade seinen Zusammenhang mit der Außenwelt verlieren. Deshalb erhält die Vorstellung jenen idealen abstrakten Charakter, welcher den in den Nervencentren vor sich gehenden Prozessen eigentümlich ist. Dies alles führt uns zu dem Schlusse, daß der Prozeß, welcher in dem O-Brennpunkte und in dem in letzterem vereinten gemeinsamen Neuronenkomplexe sich abspielt, mit dem Bewußtsein identisch ist. Wenn wir dennoch nicht imstande sind, uns vorzustellen, auf welche Weise dieser Prozeß zum Bewußtsein wird, so läßt sich das dadurch erklären, daß wir über den nervösen Prozeß objektiv, vermittelst der Sinnesorgane unterrichtet sind, und über das Bewußtsein unmittelbar resp. subjektiv.

9) Nach der hier entwickelten Theorie ist es begreiflich, warum das Bewußtsein im Zustande des Somnambulismus, bei der Hypnose und nicht selten auch bei normalem Verhalten verloren geht, indes doch der Betreffende ganz komplizierte, zweckmäßige und selbst vernünftige Handlungen zu vollführen vermag. In allen diesen Fällen müssen sehr zusammengesetzte Neuronenkomplexe sich bilden, die aber nicht zu einem gemeinsamen Komplex verschmelzen, so daß ein O-Brennpunkt nicht vorhanden ist. Das Entstehen eines idealen Abbildes der Außenwelt wird hier also unmöglich, fehlt

aber letzteres, so giebt es keine Empfindungen und der Organismus verwandelt sich in einen Automaten.

Für solche Automaten müssen wir die Tiere, welche centralisiertes Nervensystem nicht besitzen, halten.

Vom Standpunkte unserer Theorie erklärt sich die hemmende Wirkung des Gehirnes auf die Reflexe in folgender Weise: Da bei der gleichzeitigen Erregung des Gehirnes und der Sinnesorgane zwei O-Wellen sich begegnen und die trennende reduzierte Schicht von zwei Seiten beseitigt wird, so muß diese Bahn schneller und leichter durchlässig werden als die Reflektorbahn, auf welcher die reduzierende Zwischenschicht nur von einer Seite entfernt wird. Daher werden die Erregungswellen auf die erste Bahn gerichtet sein, nicht aber auf die zweite.

Diese Ansicht auf den Mechanismus der hemmenden Wirkung des Gehirns giebt uns eine ganz andere Vorstellung über den Einfluß des Nervensystems auf die Atmungsbewegungen, als die allgemein angenommene, nach welcher die Erregung des Atmungscentrums durch Kohlensäure ausgeübt wird, wobei die Unmöglichkeit, die Atmungsbewegungen auf lange Zeit willkürlich zu sistieren, von der starken Erregung dieses Centrums durch CO_2 bedingt ist.

Da aber CO_2 einen paralysierend wirkenden Stoff darstellt, so scheint uns diese Ansicht wenig wahrscheinlich. Wir glauben, daß die CO_2 auch auf die Neuronenbahnen, welche die Atmungsbewegungen regulieren, paralysierend wirke, wobei sie aber die Willensbahn schneller als die Reflectorbahn paralysiert. Daher verliert der Wille seinen Einfluß auf die Atmungsbewegungen bei den Versuchen, letztere zu sistieren.

Für die Erklärung des Rhythmus der Atmungsbewegungen ist auch die Theorie der erregenden Wirkung der CO_2 auf das Atmungscentrum überflüssig. Dieser Rhythmus wie derjenige der Herzbewegungen, der Bewegungen der Cilien und der Pulsation der Vakuolen bei Infusorien stellt eine allgemeine Eigenschaft der lebendigen Substanz dar und muß eine allgemeine Ursache haben. Diese Ursache liegt darin, daß der vitale Prozeß aus dem Wechsel zwischen Spaltung und Herstellung der lebendigen Substanz besteht. Wenn die lebendigen Molekeln in Reihen angeordnet sind, so müssen diese zwei Phasen sich regelmäßig ab-

wechseln. In der That bedingt bei dieser Anordnung die Spaltung der peripherischen Molekeln die successive Spaltung der ganzen Reihe, wobei sich eine neue Spaltung dieser Reihe nicht eher wiederholen kann, als bis alle Molekeln der Reihe durch Ernährung wiederhergestellt sind. Die Pause zwischen zwei Kontraktionen des Herzens oder der Atmungsmuskeln muß also der Zeit der Herstellung der gespalteten Muskel- und Nervenmolekeln, welche eine ununterbrochene Reihe darstellen, gleich sein. Die Ursache der Spaltung aber muß das äußerliche O sein. Zu Gunsten dieser Theorie spricht, daß die Physiologen selbst, wie z. B. J. Munk, zur Ueberzeugung kommen, daß der Rhythmus der Herzbewegungen von Ernährungsprozessen abhängig ist.

Ergänzung:

S. 82 Zl. 15 v. u. ist nach „die CO_2“ einzufügen: „mit sie begleitenden oxydierbaren Spaltungsprodukten“.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 2284



B 1.



B 2. (nach 1 St.)

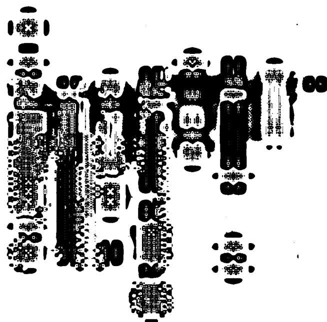


3. (noch nach 24 St.)



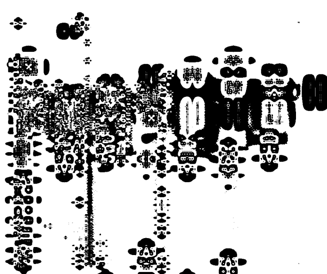
(noch nach 1 St. + H_2S.

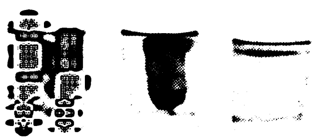
... Jena.



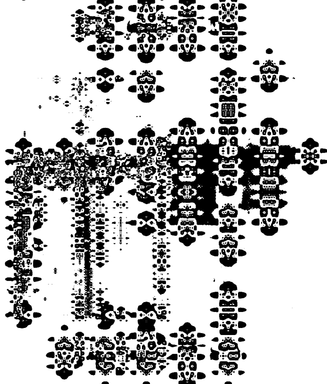


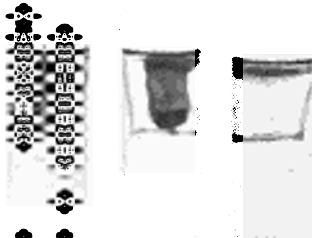
D 1.



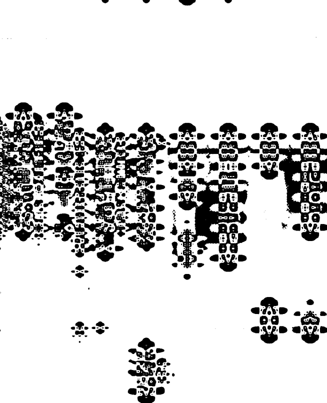


D 2. (nach 2 St.)





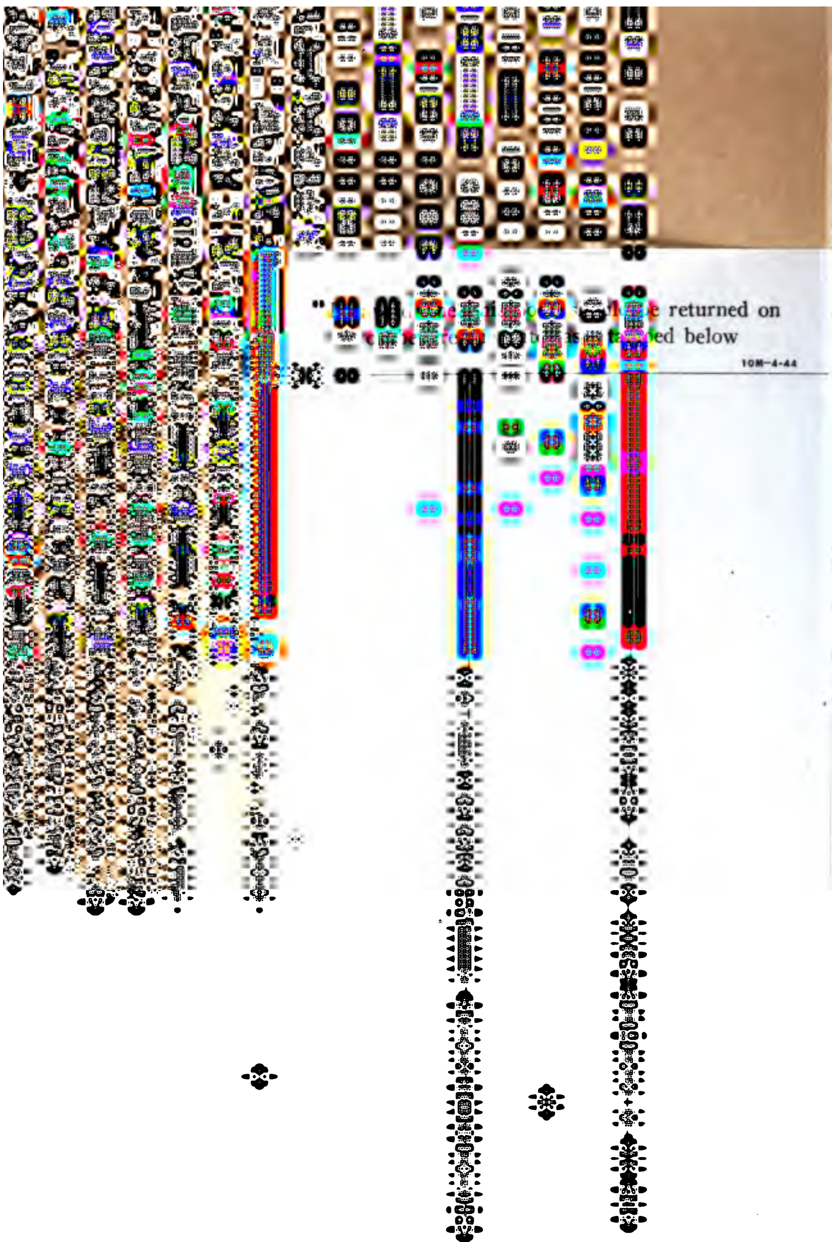
D 3. (nach 24 St.)





E 2 (nach 24 St.)

... Jena.


returned on
below
10M-4-44